



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

  
ETSI Aeroespacial y Diseño Industrial

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial  
y Diseño Industrial

Instalación fotovoltaica de 300kW para autoconsumo con  
inyección cero aplicada a una empresa dedicada al corte  
láser y mecanizado de metales

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Eléctrica

AUTOR/A: Salvador Maquin, Giannpier Alexander

Tutor/a: García Martínez, Miguel

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

## Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Instalación fotovoltaica de 300kW para autoconsumo con  
inyección 0 aplicada a una empresa dedicada al corte laser  
y mecanizado de metales

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

AUTOR: Salvador Maquin, Giannpier Alexander

TUTOR: García Martínez, Miguel

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024



---

# INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA DE 300KW PARA AUTOCONSUMO CON INYECCIÓN 0 PARA UNA EMPRESA DEDICADA AL CORTE LÁSER Y MECANIZADO DE METALES

---

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

AUTOR: Salvador Maquin, Giannpier Alexander

TUTOR: García Martínez, Miguel

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024



## ÍNDICE

### 1 Introducción

1.1	Introducción .....	5
1.2	Introduction .....	6
1.3	Agradecimientos .....	7
1.4	Introducción a la Energía Renovable en España .....	8
1.5	Normativa aplicable .....	9
1.6	Bibliografía .....	11

### 2 Memoria .....

2.1	Antecedente .....	13
2.2	Objeto de Proyecto .....	13
2.3	Situación .....	14
2.4	Definiciones .....	15
2.5	Descripción del proyecto .....	17
2.6	Estudio de la solución Fotovoltaica .....	19
2.7	Infraestructura necesaria .....	23
2.8	Datos técnicos del proyecto .....	23

### 3 Cálculos justificativos .....

3.1	Cálculo de los módulos solares .....	31
3.2	Cálculo de número de inversores .....	32
3.3	Cálculo de Nº de paneles por MPPT .....	33
3.4	Cálculo de secciones .....	38
3.5	Cálculo de protecciones .....	47

### 4 Pliego de Condiciones .....

4.1	Objeto .....	53
4.2	Condiciones generales .....	53
4.3	Mantenimiento .....	57
4.4	Seguridad y salud .....	58
4.5	Garantía .....	63

### 5 Presupuesto .....

### 6 Estudio económico .....

6.1	Análisis económico .....	69
6.2	Recuperación de la inversión .....	70
6.3	Emisiones de CO2 .....	71

### 7 Conclusión .....



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

## 1. INTRODUCCIÓN

### **TRABAJO FIN DE GRADO**

AUTOR: Salvador Maquin, Giannpier Alexander

TUTOR: García Martínez, Miguel

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

## 1.1 Introducción

En este proyecto final de grado, se realiza el cálculo y diseño de una instalación fotovoltaica de 300kW para autoconsumo e inyección 0 en una nave industrial, cuya actividad económica se basa en el corte laser y mecanizado de metales.

El objetivo principal con la instalación fotovoltaica es buscar un mayor ahorro en la factura eléctrica durante las horas pico de consumo de la nave, donde la energía eléctrica tiene un coste mayor debido a la gran demanda. Se explicará en detalle el funcionamiento de la instalación, incluidos los componentes necesarios, la cantidad de energía que se puede generar, y cómo se lleva a cabo la inyección 0. Se discutirán también los beneficios y la consideración de una instalación de este tipo, tanto desde un punto de vista económico como ambiental.

Por último, analizará la rentabilidad de la instalación de autoconsumo en función de los costos de inversión con el consumo actual de la empresa.

Palabras Clave: 'Autoconsumo', 'inyección 0' y 'paneles fotovoltaicos'

## 1.2 Introduction

In this final degree project, the calculation and design of a 300kW photovoltaic installation for self-consumption and zero injection in an industrial warehouse, whose economic activity is based on laser cutting and metal machining, are carried out.

The main objective of the photovoltaic installation is to achieve greater savings on the electricity bill during peak consumption hours of the warehouse, where electrical energy has a higher cost due to high demand. The operation of the installation will be explained in detail, including the necessary components, the amount of energy that can be generated, and how the grid injection is carried out. The benefits and considerations of such an installation will also be discussed, both from an economic and environmental perspective.

Lastly, an analysis of the profitability of the self-consumption installation will be analyzed based on the investment costs and the current consumption of the company.

Key words: 'self-consumption', 'zero injection' y 'photovoltaic panels'

## 1.3 Agradecimientos

Quisiera aprovechar esta oportunidad para expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que contribuyeron de manera significativa a la realización de este trabajo final de curso. Ha sido un arduo proceso de investigación, análisis y redacción, y no podría haberlo logrado sin el apoyo y la colaboración de aquellos que estuvieron a mi lado en este viaje académico.

En primer lugar, quiero agradecer a mi profesor Miguel por su orientación, paciencia y dedicación en la supervisión de este proyecto. Su experiencia y conocimiento fueron fundamentales para orientarme en la dirección correcta y desafiarme a alcanzar mis metas académicas. Además, quiero destacar su disposición para responder a mis preguntas y brindarme valiosos consejos a lo largo de este proceso.

También quiero expresar mi gratitud a mis compañeros de clase, quienes han sido una fuente constante de motivación y apoyo. Nuestros intercambios de ideas y discusiones enriquecieron mi comprensión del tema y me inspiraron a profundizar en mi investigación. Su colaboración y camaradería hicieron que este trabajo fuera una experiencia gratificante y enriquecedora.

Además, no puedo dejar de mencionar a mis amigos y familiares, quienes me brindaron su incondicional apoyo emocional y alentaron mis esfuerzos durante todo este proceso. Su confianza en mí y sus palabras de aliento fueron un estímulo constante que me ayudó a superar los desafíos y mantenerme enfocado en mi objetivo.

Por último, pero no menos importante, deseo expresar mi agradecimiento a todas las fuentes de información y bibliografía que consulté para llevar a cabo esta investigación. Sus investigaciones y estudios previos sentaron las bases para mi trabajo y me proporcionaron el conocimiento necesario para respaldar mis argumentos y conclusiones.

En conjunto, todas estas personas y recursos han sido piezas clave en la culminación de este trabajo final de curso. Me siento profundamente agradecido por haber tenido la oportunidad de aprender, crecer y desafiarme a mí mismo/a en este proyecto. Espero que este trabajo sea una contribución significativa y refleje el esfuerzo y dedicación que invertí en él.



## 1.4 Introducción a las Energías Renovables en España

La energía renovable solar ha experimentado un crecimiento significativo en España en los últimos años, convirtiéndose en una fuente de energía fundamental en el país. Con su abundante radiación solar, España posee un gran potencial para aprovechar la energía del sol y convertirla en electricidad limpia y sostenible. La creciente conciencia sobre la importancia de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y buscar alternativas energéticas más limpias ha impulsado el desarrollo y la adopción de la energía solar en todo el país.

España cuenta con un clima privilegiado para la energía solar, con un promedio de más de 2,800 horas de sol al año en muchas regiones. Esta condición favorable ha permitido el establecimiento de numerosas instalaciones solares fotovoltaicas en todo el país, que han contribuido significativamente a la generación de energía limpia y la reducción de las emisiones de carbono.

Además, el gobierno español ha promovido activamente la energía renovable solar a través de la implementación de políticas y medidas de apoyo. Se han establecido incentivos financieros, como tarifas de alimentación y subvenciones, para fomentar la inversión en instalaciones solares y facilitar su conexión a la red eléctrica. Estas iniciativas han incentivado la participación de empresas y particulares en la transición hacia una matriz energética más sostenible y han impulsado el desarrollo tecnológico en el sector solar.

La energía solar en España no solo contribuye a la reducción de la dependencia de combustibles fósiles y a la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también ha generado oportunidades económicas y empleo en el sector de las energías renovables. El crecimiento continuo de la industria solar ha generado inversiones, la creación de puestos de trabajo y el impulso de la innovación en tecnologías solares.

En resumen, la energía renovable solar se ha convertido en una parte integral del panorama energético en España, proporcionando una solución limpia y sostenible para satisfacer las necesidades de consumo de electricidad. Con su abundante recurso solar y el apoyo político y económico, España está en una posición privilegiada para seguir aprovechando el potencial de la energía solar y avanzar hacia un futuro más sostenible y libre de emisiones.

## 1.5 Normativa Aplicable

Para la elaboración del proyecto se cumplirán las Normas establecidas por la compañía suministradora, así como las Ordenanzas Municipales del Ayuntamiento, y todas aquellas que afectan a la instalación en el momento de su ejecución. Norma UNE 157001/2002 Criterios generales para la elaboración de proyectos Normas UNE, EN y UNE EN de cumplimiento obligatorio. Normativa autonómica de aplicación.

LEY 24/2013, de 26 de Diciembre, del Sector eléctrico.

REAL DECRETO 244/2019, de 5 De Abril, por el cual se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica.

REAL DECRETO-LEY 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores.

REAL DECRETO 1183/2020, de 29 de diciembre, de acceso y conexión a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica.

REAL DECRETO 1110/2007, de 24 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico.

REAL DECRETO 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.

REAL DECRETO 900/2015, de 9 de octubre, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo.

REAL DECRETO 3151/1968 de 28 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento Técnico de Líneas Eléctricas Aéreas de Alta Tensión.

REAL DECRETO 1663/2000, de 29 de septiembre, sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión.

Normas Básicas de la Edificación (NBE).

- Norma UNE-EN60335-2-61:1997
- Norma UNE-21123-4:2010
- ITC-BT (07, 16, 19, 20, 21)

### Seguridad y Salud:

Ley 31/1995, sobre Prevención de Riesgos laborales

REAL DECRETO 1627/1997 del 24 de Octubre, por el cual se establecen las disposiciones mínimas de Seguridad y de Salud en las obras de construcción.

REAL DECRETO 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas

de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.

REAL DECRETO 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud

relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.

REAL DECRETO 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas

de seguridad y salud en los lugares de trabajo.

REAL DECRETO 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.

DECRETO 3854/1970, de 31 de diciembre, por el que se aprueba el Pliego de Cláusulas Administrativas Generales para la Contratación de Obras del Estado.

REAL DECRETO 3275/1982, de 12 de noviembre, sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas y centros de transformación.

REAL DECRETO 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.

REAL DECRETO 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la

salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.

## 1.5 Bibliografía

La información necesaria para elaborar este proyecto y empezar la investigación sobre este tema la he recopilado de las siguientes páginas web:

<https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/planes-estrategias/hoja-ruta-autoconsumo/default.aspx>

<https://www.idae.es/index.php/tecnologias/energias-renovables/oficina-de-autoconsumo>

[https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/es/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/)

<https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/que-es-energia-fotovoltaica>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

## 2. MEMORÍA

### **TRABAJO FIN DE GRADO**

AUTOR: Salvador Maquin, Giannpier Alexander

TUTOR: García Martínez, Miguel

CURSO ACADÉMICO: 2022/2034

## 2.1 Antecedente

La energía solar fotovoltaica en España ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años como parte de los esfuerzos para impulsar la transición energética hacia las energías renovables, abandonando así la producción de energía a partir de fuentes que emiten una gran cantidad de gases de efecto invernadero, como los combustibles fósiles, y adoptar otras que emiten pocos gases o ninguno, en este caso siendo la energía fotovoltaica, aprovechando la energía solar para generar electricidad de manera más sostenible.

Con este fin se pretende realizar una instalación solar fotovoltaica de inyección en red interior, para consumir toda la energía generada por la instalación proyectada. En el caso de existir energía sobrante, esta nunca se inyectaría a la red eléctrica de la compañía existente.

Para ello se dispondrá de todos los elementos necesarios para tal fin.

## 2.2 Objeto de Proyecto

El presente documento es la redacción del proyecto de fin de grado, el cual se basa en explicar el procedimiento de cálculo y dimensionamiento de una instalación solar fotovoltaica de autoconsumo con inyección 0, así como también de definir sus características básicas y las modificaciones de la red interior de Baja y Alta Tensión necesarias para llevar a cabo la instalación en Laser Manufacturing S.L. C/ TRAMUNTANA 12, 46240, Carlet, Valencia.

En este, encontraremos unos objetivos específicos para el desarrollo del estudio, así como una propuesta y justificación de diseño de la instalación fotovoltaica que cubra las necesidades de la nave y requerimientos del cliente.

Con el fin de conseguir una instalación lo más rentable y medioambientalmente sostenible posible, se analiza el emplazamiento más adecuado y su accesibilidad, todo ello en función de los parámetros básicos necesarios para que afecten lo mínimo posible al entorno que lo rodea.

Para ello se pondrán en práctica los conocimientos adquiridos durante el grado de Ingeniería Eléctrica cursado en la Universidad Politécnica de Valencia. Específicamente, trataremos las áreas de las energías renovables y las instalaciones de baja y alta tensión.

## 2.3 Situación

La instalación objeto de este proyecto tiene las siguientes referencias fiscales y catastrales de emplazamiento:

Nombre: Laser Manufacturing S.L.

CIF: B98430457

Ref. Catastral: 6657910YJ1465N0001KB

Dirección: CL TRAMUNTANA 12

CP: 46240

Municipio: Carlet

Provincia: Valencia

Coordenadas UTM del edificio donde va ubicada la instalación fotovoltaica:

X: 716,835 Y: 4345,783 HUSO 30S (ETRS89)

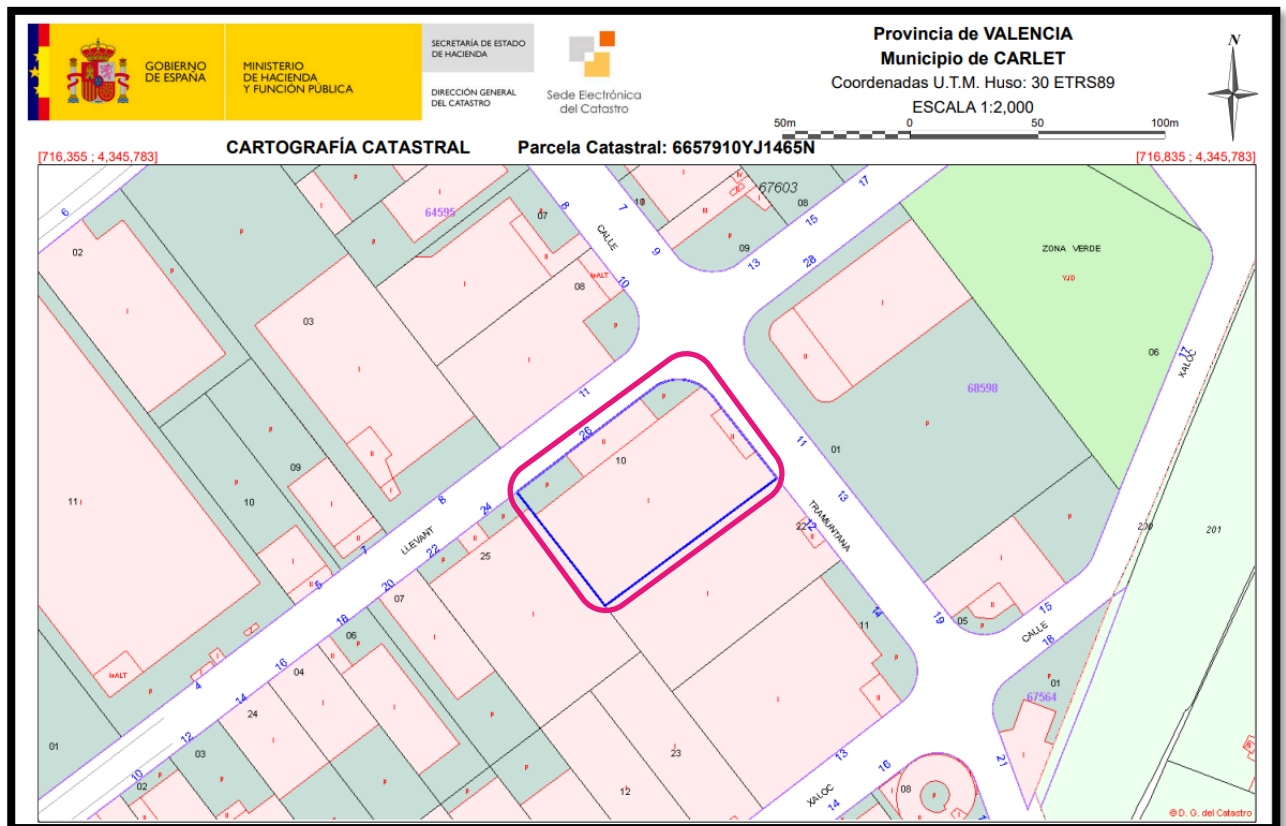


ILUSTRACIÓN 1. REFERENCIA CATASTRAL

## 2.4 Definiciones

### 2.4.1.- Radiación solar

#### Radiación solar

Energía procedente del Sol en forma de ondas electromagnéticas.

#### Radiación Solar Global media diaria anual

Energía procedente del sol que llega a una determinada superficie (global), tomando el valor anual como suma de valores medios diarios.

#### Irradiancia

Densidad de potencia incidente en una superficie o la energía incidente en una superficie por unidad de tiempo y unidad de superficie. Se mide en kW/m<sup>2</sup>.

### 2.4.2.- Instalación

#### Instalaciones fotovoltaicas

Aquellas que disponen de módulos fotovoltaicos para la conversión directa de la radiación solar en energía eléctrica sin ningún paso intermedio.

#### Instalaciones fotovoltaicas conectada en red eléctrica interior (Autoconsumo solar fotovoltaico)

Aquella instalación cuya producción se vuelca en la red interior del cliente.

#### Línea y punto de conexión y medida

La línea de conexión es la línea eléctrica mediante la cual se conectan las instalaciones fotovoltaicas con un punto de red de la empresa distribuidora o con la acometida del usuario, denominado punto de conexión y medida.

#### Interruptor automático de la interconexión

Dispositivo de corte automático sobre el cual actúan las protecciones de interconexión.

#### Interruptor general

Dispositivo de seguridad y maniobra que permite separar la instalación fotovoltaica de la red de la empresa distribuidora.

#### Generador fotovoltaico

Asociación en paralelo de ramas fotovoltaicas.



### Rama fotovoltaica (String)

Subconjunto de módulos interconectados en serie o en asociaciones serie-paralelo, con voltaje igual a la tensión nominal del generador.

### Inversor

Convertidor de tensión y corriente continua en tensión y corriente alterna.

### Sistema anti-vertido

Equipo que evita que el excedente de producción se vertido a red de compañía.

### Potencia pico de la instalación o potencia nominal del generador

Suma de las potencias máximas de los módulos fotovoltaicos.

### Potencia de la instalación fotovoltaica o potencia nominal de la instalación

Suma de la potencia nominal de los inversores (la especificada por el fabricante) que intervienen en las tres fases de la instalación en condiciones nominales.

## 2.4.3.- Módulos

### Célula solar o fotovoltaica

Dispositivo que transforma la radiación solar en energía eléctrica.

### Módulo o panel fotovoltaico

Conjunto de células solares directamente interconectadas y encapsuladas como único bloque, entre materiales que las protegen de los efectos de la intemperie.

### Condiciones Estándar de Medida (CEM)

Condiciones de irradiancia y temperatura en la célula solar, utilizadas universalmente para caracterizar células, módulos y generadores solares y definidas del modo siguiente:

- Irradiancia solar: 1000 W/m<sup>2</sup>
- Distribución espectral: AM 1,5 G
- Temperatura de célula: 25 °C

### Potencia pico

Potencia máxima del panel fotovoltaico en CEM.

#### 2.4.4.- Estructura

##### Estructura o estructura soporte

Estructura, generalmente metálica, que sirve de soporte a los paneles fotovoltaicos.

##### Estructura fija

Estructura portante de los paneles fotovoltaicos sin partes móviles, con una orientación e inclinación definidas e invariables.

#### 2.4.5.- Pérdidas

##### Pérdidas por inclinación:

Cantidad de irradiación solar no aprovechada por el sistema generador a consecuencia de no tener la inclinación óptima.

##### Pérdidas por orientación:

Cantidad de irradiación solar no aprovechada por el sistema generador a consecuencia de no tener la orientación óptima.

##### Pérdidas por sombras:

Cantidad de irradiación solar no aprovechada por el sistema generador a consecuencia de la existencia de sombras sobre el mismo en algún momento del día.

### 2.5 Descripción del proyecto

Se propone la instalación de un campo solar fotovoltaico cuya potencia nominal consta aproximadamente de 300 kW en las cubiertas de las naves industriales de Laser Manufacturing S.L. en Carlet, Valencia. La energía generada se conectará a la red eléctrica interior de la instalación de la nave según las normativas del Reglamento de Baja Tensión y su guía BT-40 artículo 4.3- Instalaciones Interconectadas.

La instalación fotovoltaica transformará la energía solar en electricidad, que se inyectará directamente a la red eléctrica interior sin ningún tipo de dispositivo de almacenamiento de energía. La generación fotovoltaica contribuirá a reducir emisiones de CO<sub>2</sub>, ahorrar energía eléctrica y disminuir pérdidas de transporte al generarse cerca de los puntos de consumo. No se contempla la venta del excedente de energía.

## 2.5.- Descripción de funcionamiento

El proyecto describe el funcionamiento de una instalación fotovoltaica con vertido 0 conectada a la red eléctrica interior. La energía solar captada por los módulos solares instalados en la cubierta del recinto, convertirán esa energía en electricidad de corriente continua. Luego, la corriente continua generada viajará a través de los cables solares instalados hacia los inversores, convirtiendo esta energía en energía de corriente alterna e inyectando directamente esta corriente en el punto de conexión interior de red eléctrica del recinto.

Acogiéndonos al modelo de autoconsumo actualmente vigente definido en el RD 244/2019, en el cual las instalaciones que superen los 100kW no podrán acogerse a la compensación simplificada, por la cual parte de la producción que no haya sido directamente aprovechada se inyecta a la red realizándose así una compensación a precio reducido al final del periodo de facturación, no se puede compensar más de lo que se ha consumido, por lo que solo se podría vender la energía. Dado que en esta ocasión no interesa vender la energía, se utilizará un equipo para regular la inyección, llevando esta a 0, para no inyectar a la red. Funcionando de esta manera como un autoconsumo puro.

El punto de conexión con la red eléctrica interior se realiza en el cuadro general de baja tensión del cliente, y el sistema incluye elementos de monitorización para visualizar parámetros como potencia instantánea, potencia autoconsumida, energía diaria acumulada y otros datos relevantes.

Por otra parte, la instalación cuenta con elementos de protección, como un interruptor automático de interconexión, que permite separar la instalación fotovoltaica de la red eléctrica interior. Se destaca la importancia de un aislamiento eléctrico mínimo y de la inclusión de todos los elementos necesarios para garantizar la protección física, la calidad del suministro y prevenir averías en la red eléctrica.

La inversión en esta instalación busca abaratar la factura de compra de energía eléctrica, lo que acelera el período de amortización. Factores como el potencial solar, la potencia nominal de la instalación y su modularidad mediante el uso de inversores de diversas potencias permiten adaptarse a las condiciones específicas del emplazamiento, minimizar sombras y facilitar operaciones de mantenimiento sin interferencias.

## 2.6 Estudio de la solución fotovoltaica

### 2.6.1 Estudio de consumos

El suministro de esta nave viene dado por la empresa distribuidora: Iberdrola distribuidora S.L. de código 21. El tipo de tarifa que se le ha asignado es 6.1 TD la cual tiene una discriminación horaria de seis periodos horarios (P1 a P6) en función de la temporada, el día de la semana y la hora del día, tanto en potencia como energía.

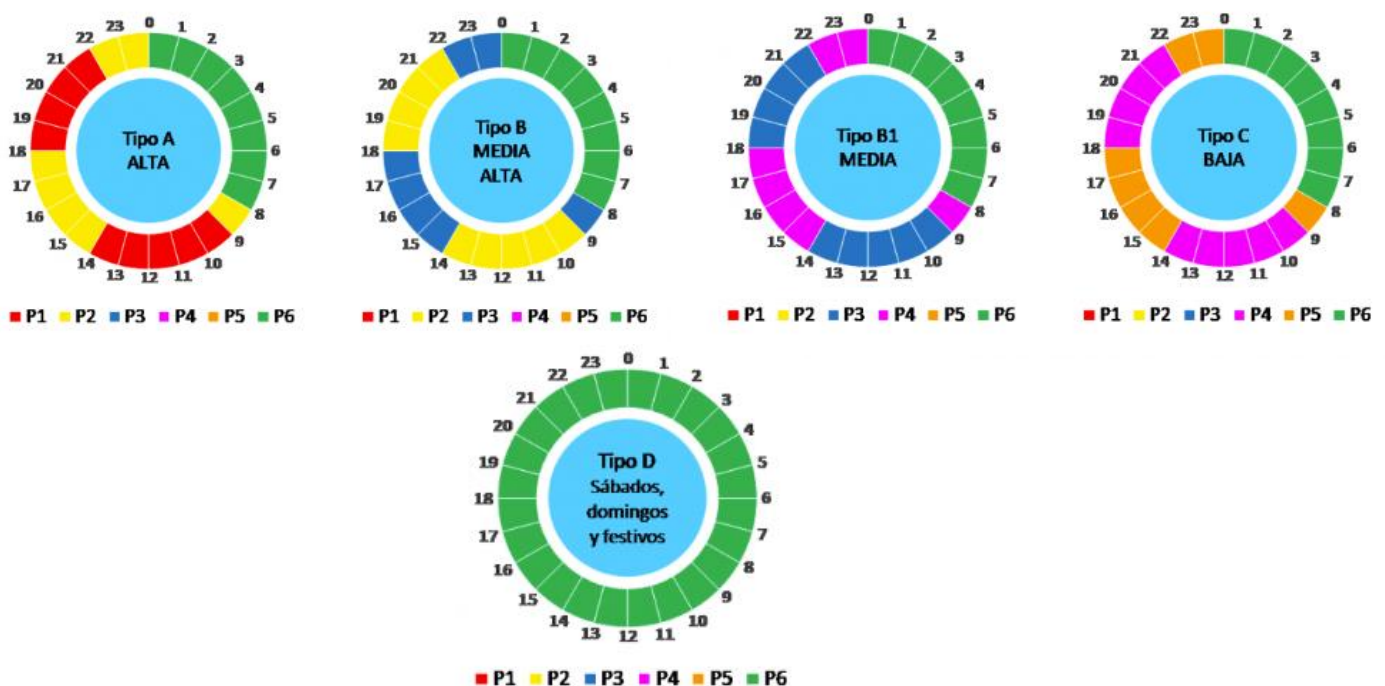
Las temporadas para la zona peninsular son:

- Temporada Alta: Enero, febrero, julio y diciembre.
- Temporada Media Alta: Marzo y noviembre.
- Temporada Media: Junio, agosto y septiembre.
- Temporada Baja: Abril, mayo y octubre

Los tipos de días se clasifican de la siguiente forma:

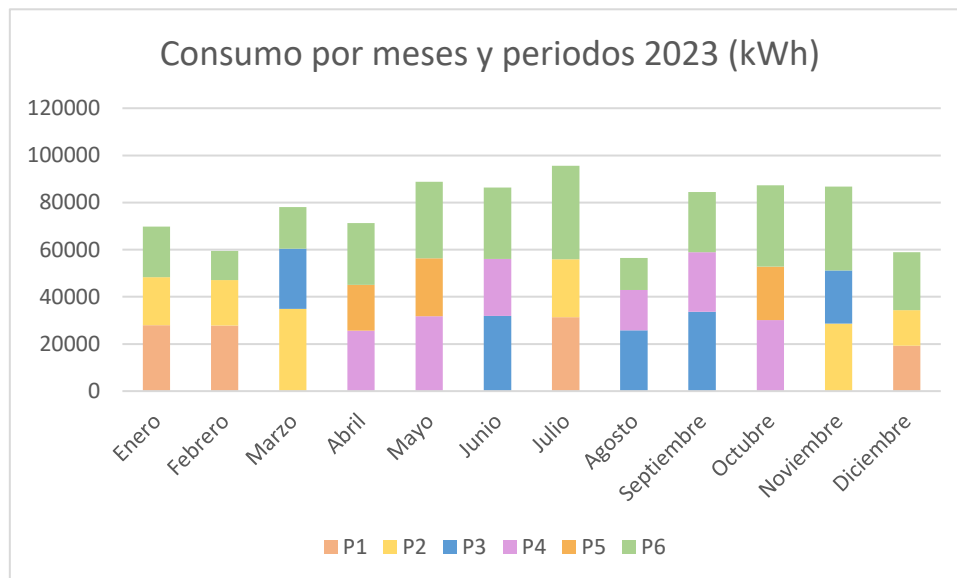
- Tipo A: De lunes a viernes no festivos de temporada Alta.
- Tipo B: De lunes a viernes no festivos de temporada media alta
- Tipo B1: De lunes a viernes no festivos de temporada media
- Tipo C: De lunes a viernes no festivos de temporada baja
- Tipo D: Sábados, domingos festivos y 6 de enero y festivos nacionales no sustituibles.

Por último, en los siguientes relojes se muestran los periodos horarios en función del tipo de día.



Teniendo en cuenta la distribución de los periodos, los datos obtenidos en el último año de la empresa en cuestión son los siguientes:

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Enero	27984	20379	0	0	0	21372
Febrero	27870	19233	0	0	0	12331
Marzo	0	34852	25583	0	0	17648
Abril	0	0	0	25620	19417	26237
Mayo	0	0	0	31820	24487	32466
Junio	0	0	31841	24246	0	30278
Julio	31307	24651	0	0	0	39573
Agosto	0	0	25756	17146	0	13608
Septiembre	0	0	33667	25237	0	25494
Octubre	0	0	0	30117	22708	34546
Noviembre	0	28660	22512	0	0	35580
Diciembre	19331	15027	0	0	0	24499



El consumo total de la nave es de 923083 kWh/año.

Como se puede observar en los meses de verano del último año hubo un mayor consumo en la instalación, debido a una mayor demanda de productos y a su vez un incremento de horas de uso de las máquinas.

Por otra parte, la potencia contratada por periodos en la instalación debido a los picos puntuales que hay en la nave debido a las maquinas que existen en la instalación son los siguientes:

Periodos	Potencia contratada
P1	240
P2	240
P3	240
P4	240
P5	240
P6	319

A lo largo de la semana los consumos se dividen de forma que de lunes a viernes es cuando están en funcionamiento las maquinas que se dedican a las labores de la empresa (Maquinas de corte Laser, máquinas de mecanizado de metales y maquinas robotizadas de transporte de materiales). Están activas desde las 7:00am hasta las 20:00pm.

Por la noche y los fines de semana tienen un consumo muy bajo en comparación, ya que las máquinas de trabajo no están en funcionamiento y solo se quedan encendidos las maquinas de uso diario tanto del comedor, como del recinto de ocio y los baños

Hora	Consumos semanal medio (W)		
	Lunes - Viernes	Sabado	Domingo
0:00	8034	7892	8732
1:00	9457	7186	12345
2:00	7122	9034	9876
3:00	10893	10453	13456
4:00	7311	7621	10234
5:00	11678	11500	7890
6:00	80000	9287	14567
7:00	150000	10327	6178
8:00	180000	7345	13123
9:00	195000	11011	7421
10:00	200000	8279	10001
11:00	270000	9522	8243
12:00	250000	7833	13678
13:00	290000	10900	11000
14:00	300000	7167	6032
15:00	264000	8174	13987
16:00	250000	9688	12009
17:00	170000	7012	6754
18:00	120000	11894	14232
19:00	123000	11237	15000
20:00	100000	7965	8191
21:00	7500	12000	7165
22:00	8971	7498	8116
23:00	7177	8321	9667



## 2.6.2 Estudio de la cubierta

Para llevar a cabo el estudio de la cubierta nos vamos a basar en la superficie disponible, su orientación y su tipo de material.

Como podemos observar en las imágenes adjuntas de la nave, se trata de dos cubiertas a dos aguas de chapa metálica de acero con orientación norte-sur cada una.

Debido al espacio que tenemos y a que entre ciertos tramos hay obstáculos en forma de lucernarios, tendremos que hacer gran parte en la orientación sur y una pequeña parte en orientación norte, aprovechando así el espacio que tenemos para poder añadir paneles fotovoltaicos



## 2.6.3 Dimensionado de la instalación

Teniendo en cuenta los valores de consumo de la instalación donde llega a tener unos picos de aproximadamente unos 300kW durante las horas donde la irradiancia es alta y contando con el espacio de tejado disponible que tiene la nave, se ha optado por establecer una cantidad pico de 300kWp en paneles aproximadamente, de manera que cubra una gran parte del consumo durante las horas de mayor consumo.

## 2.7 Infraestructura necesaria

- Inversores Trifásicos: Se encarga de transformar la corriente continua generada por la instalación fotovoltaica en corriente alterna para utilizarlo en los aparatos de consumo.
- Monitorización: Se encargará de monitorizar la planta en el portal del fabricante, siendo por lo general el mismo que la marca del inversor, monitoriza la producción y el consumo de la instalación, mostrando de manera visual y mediante gráficas los resultados.
- Paneles fotovoltaicos: tienen la finalidad de captar la radiación solar y transformarla en electricidad a corriente continua.
- Estructura: Es el sistema de fijación encargado de ser el soporte para colocar los paneles en la cubierta de la instalación.
- Cableado: Es el encargado de transferir la corriente continua de los paneles hasta el inversor, y del inversor hasta el consumo con corriente alterna.
- Protecciones: Desconectan la instalación en el caso de no detectar tensión en la red, en el caso de pérdida de aislamiento, o al detectar cualquier mal funcionamiento, otras protecciones además de las de tensión y frecuencia son los diferenciales y los magnetotérmicos.

## 2.8 Datos técnicos del proyecto

### 2.8.1 Inversores Trifásicos

El inversor es el elemento de la instalación encargado de transformar la corriente continua, en corriente alterna. La potencia nominal del inversor debe ser adecuada a la potencia pico de la generación del campo fotovoltaico.

Además, debe cumplir con las exigencias requeridas en el RD 1699/2011 de 18 de noviembre, por el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia, en cuanto a protecciones, puesta a tierra, compatibilidad electromagnética, etc.

El modelo de inversor que escojamos debe de tener salida trifásica para su operación en paralelo con la conexión a red, a 400V y 50 Hz.



## SMA TRIPOWER CORE 2

Como segunda opción propondremos tres inversores de la marca SMA, pioneros de innovadoras soluciones para aplicaciones solares y de almacenamiento.



El modelo que elegimos en este caso es el Sunny Tripower CORE2 el cual cuenta con una salida de 12 MPPT y una potencia de salida de 110kW para 400V CA.

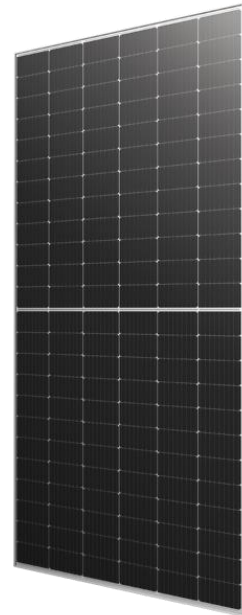
- El mejor de su clase: 12 seguidores del MPP
- 24 strings con conectadores de enchufe Sunclix
- Sobredimensionado de hasta el 150 % del generador fotovoltaico
- Hasta 1100 V de CC
- Compatibilidad con módulos bifaciales
- Sin necesidad de DC-Combiner
- El mejor de su clase: 110 kW con 400 V de CA de serie
- Incluye varias asas de probada calidad
- Alta resistencia frente a las influencias ambientales
- SMA ShadeFix y SMA Smart Connected para obtener siempre un rendimiento óptimo

## 2.8.2 Paneles fotovoltaicos

### Longi

En este caso, lo que se busca es la mayor producción de energía en el menor espacio disponible, por lo que en este proyecto se priorizará la producción al coste. Teniendo en cuenta las bases sobre las que priorizaremos el proyecto, el panel que utilizaremos es de la marca Longi Solar, clasificada actualmente como la fabricante con la mejor eficiencia del mercado.

**LONGI**



El modelo que utilizaremos en este caso es el LR5-72HTH 600M, siendo alguna de sus características las siguientes

- Panel construido con 144 células monocristalinas
- Eficiencia máxima de 23,2%
- Garantía de 15 años
- Alto rendimiento energético
- Protección IP68
- Ahorro en la estructura y cableado por uso de menos strings

## 2.8.3 Estructura

### K2 SYSTEMS

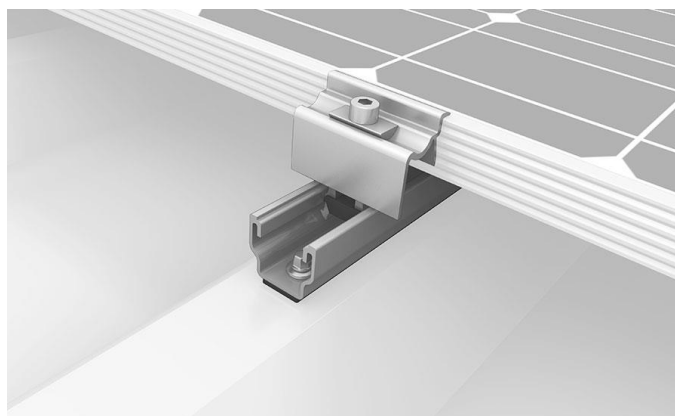


Para la elección de la estructura, hemos tenido en cuenta el tipo de material, la superficie disponible, los posibles efectos de sombra, la orientación y el coste de este. Siendo la elección un tipo de estructura de la marca K2 Systems, empresa alemana dedicada a dar las mejores soluciones para cualquier tipo de instalación fotovoltaica.

En esta ocasión se trata de 2 tejados a dos aguas cada uno, cuyo material es de chapa metálica de acero, el cual cuenta con orientación norte-sur. Debido al espacio que tenemos y a que entre ciertos tramos hay obstáculos en forma de lucernarios, tendremos que hacer gran parte en la orientación sur y una pequeña parte en orientación norte.

En la orientación Sur utilizaremos estructura coplanar, esto quiere decir que ira paralela al tejado sin ningún tipo de elevación angular, irán orientadas con el mismo ángulo de incidencia que tiene el tejado. El modelo es el tipo de estructura llamado K2 Multirail. El cual consta por pequeños trozos de carril los cuales se colocan encima del tejado mediante unos tornillos que hacen de sujeción, y sobre estos se colocan los paneles solares quedando estos fijos a la estructura por medio de clamps que vienen a ser elementos de aluminio que se encargan de sujetar el panel a la estructura.

En la orientación Norte utilizaremos el mismo tipo de estructura, esto quiere decir que parte del tejado al estar orientado hacia el norte no tendrá la misma eficacia comparada con los que están al sur.



## 2.8.4 Sistema anti-vertido

Para este caso en concreto, nuestro sistema anti-vertido vendrá compuesto por dos equipos. El primer equipo es un regulador de potencia, este será de la misma marca que nuestro inversor, el modelo de este equipo tiene el nombre de SMA Data Manager M.

El Data Manager M se encarga de la supervisión, el control y la regulación de la potencia apta para la red en plantas fotovoltaicas, siendo así la solución de monitorización y control para plantas fotovoltaicas de gran tamaño descentralizadas de hasta 2,5 MVA y hasta 50 equipos. Gracias a las interfaces RS485 y Ethernet, así como a los sistemas de entrada y salida analógicos y digitales, los usuarios disponen de muy diversas posibilidades de conexión.

Combinando la interfaz web EnnexOs de la marca SMA y nuestro equipo Data Manager, podremos monitorizar y configurar a distancia los parámetros de nuestra instalación.



Alguna de sus características:

- Interfaz de usuario unitaria
- Parametrización remota inalámbrica
- Vista sencilla de todo el sistema
- Identificación online rápida y directa y resolución de errores
- Sencilla estructuración de las plantas fotovoltaicas según las necesidades individuales
- Cumplimiento de los requisitos internacionales de integración de redes

El segundo equipo que acompañará al primero será el PRISMA 310A de la marca:

### **REAL ENERGY SYSTEMS (RENESYS)**

El PRISMA 310A es un controlador dinámico de potencia que permite regular el nivel de generación de los inversores de una instalación de producción (fotovoltaica, eólica,...) en función del consumo instantáneo. El objetivo final es limitar o eliminar la exportación de energía, de la manera más eficiente, consiguiendo maximizar la producción cumpliendo las restricciones normativas y técnicas.



### **CARACTERÍSTICAS**

Equipo multifunción con capacidad de:

- Gestionar múltiples modelos de inversores de distintos fabricantes
- Comunicación TCP (Sunspec/Modbus).
- Comunicación RS485 (Modbus RTU). Requiere pasarela REN-TTL-485.
- Ajustado según legislación local (Ej: España fase de mínimo consumo, media de consumos, ...)
- Aplicable a instalaciones monofásicas y trifásicas.
- Proporciona Servidor Modbus/TCP para monitorización.
- Datos instantáneos en pantalla y mediante señalización luminosa y acústica.
- En modalidad autoconsumo sin excedentes:
  - Evita la inyección de energía a la red (doble control físico y lógico).
  - Con cumplimiento de norma UNE 217001-IN.

## 2.8.5 Cableado

El Cable Unifilar 6 mm<sup>2</sup> Solar ZZ-F negro es un tipo de material especial para instalaciones eléctricas. Se trata de un cable de potencia libre de halógenos. El cable solar 6mm<sup>2</sup> es un cable flexible de potencia diseñado para satisfacer los requisitos industriales más exigentes, como por ejemplo las conexiones industriales de baja tensión, redes urbanas, instalaciones en edificios.



Alguna de sus características:

- Rendimiento eléctrico: 1,5/1,5 1kV (1,8) kV DC
- Normas y homologaciones: TUV / RETIE / CE
- Rendimiento térmico:
  - Temperatura máxima de servicio: 120°C.
  - Temperatura máxima de cortocircuito: 250°C (máx. 5 s).
  - Temperatura mínima de servicio: -40°C (instalaciones fijas y protegidas).



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

### 3. CALCULOS JUSTIFICADOS

#### **TRABAJO FIN DE GRADO**

AUTOR: Salvador Maquin, Giannpier Alexander

TUTOR: García Martínez, Miguel

CURSO ACADÉMICO: 2022/2030

### 3 Cálculos Justificativos

A continuación, se presentan todos los cálculos justificativos de la selección de los componentes de la instalación fotovoltaica.

#### 3.1 Cálculo de los módulos solares

Para el cálculo de número de módulos adecuado para esta instalación y su configuración, tendremos en cuenta la ficha de técnica del equipo y los siguientes datos:

1. Pp La potencia pico del panel fotovoltaico.
2. La potencia pico del consumo.

<b>Características eléctricas</b>		
Tipo de panel	LR5-72HTH-600M	
Condición de prueba	STC	NOCT
Potencia máxima (Pmax/W)	600	448
Tensión en circuito abierto (Voc/V)	52,81	49,58
Corriente de cortocircuito (Isc/A)	14,46	11,68
Tensión a máxima potencia (Vmp/V)	44,66	40,75
Corriente a máxima potencia (Vmp/V)	13,44	11,00
Eficiencia del panel (%)	23,2	

El panel fotovoltaico a utilizar es un panel monocristalino del fabricante Longi cuyo modelo es el LR5-72HTH 600M de 600W. Por otra parte, la potencia pico de la instalación es de 300kWp. Dada la suposición de pérdidas por temperatura, degradación de los paneles y ángulo de incidencia, se agregará un margen de 10%.

Los resultados son los siguientes:

$$N^{\circ} \text{ de Paneles ideal} = \frac{Pp_{\text{Consumo}}}{Pp_{\text{panel}}} \times 1,1 = \frac{300000}{600} \times 1,1 = 550 \text{ paneles} \quad (1)$$

$$P \text{ pico de la Instalación} = N^{\circ} \text{ de Paneles ideal} \times Pp_{\text{panel}} = 550 \times 600 = 330kW \quad (2)$$

El número de paneles fotovoltaicos a utilizar será de 550 paneles de 600W cuya producción total será de 330 kW.



### 3.2 Cálculo de los números de inversores

En este caso, el modelo de inversor seleccionado es el SMA Sunny Tripower CORE2 con una potencia de salida de hasta 110 kW. El inversor tiene 12 seguidores MPPT, por lo que contamos con 24 strings para la fotovoltaica.

Datos técnicos	Sunny Tripower CORE2
<b>Entrada (CC)</b>	
Potencia máx. del generador fotovoltaico	165000 Wp STC
Tensión de entrada máx.	1100 V
Rango de tensión del MPP	500 V a 800 V
Tensión asignada de entrada	585 V
Tensión de entrada mín. / Tensión de entrada de inicio	200 V / 250 V
Corriente de entrada máx. por seguidor del MPP / Corriente de cortocircuito máx. por seguidor del MPP	26 A / 40 A
Cantidad de seguidores del MPP independientes / Strings por seguidor del MPP	12 / 2
<b>Salida (CA)</b>	
Potencia asignada a tensión nominal	110000 W
Potencia máx. aparente de CA	110000 VA
Tensión nominal de CA	400 V
Rango de tensión de CA	320 V a 460 V
Frecuencia de red de CA/Rango	50 Hz / 45 Hz a 55 Hz 60 Hz / 55 Hz a 65 Hz
Frecuencia de red asignada	50 Hz
Corriente máx. de salida	159 A
Factor de potencia a potencia asignada / Factor de desfase ajustable	1 / 0,8 inductivo a 0,8 capacitivo
Armónicos (THD)	< 3 %
Fases de inyección / Conexión de CA	3 / 3-PE

Según las especificaciones de la ficha técnica del inversor, el rango de tensión de entrada ( $V_{MPPT\ min}$ ) es de 250V, la tensión máxima de entrada por MPPT ( $V_{MPPT\ max}$ ) es de 1100V, la corriente de entrada max por MPPT ( $I_{MPPT\ max}$ ) es de 26 A.

Dado que la potencia pico de la instalación es de 330kW y que la potencia nominal de salida de PV es de 110 kW.

$$N^{\circ} \text{ de Inversores ideal} = \frac{P \text{ pico de la Instalación}}{P \text{ salida max}} = \frac{330000}{110000} = 3 \text{ Inversores} \quad (3)$$

### 3.3 Cálculo de número de paneles por entrada de MPPT

Para determinar cuántos paneles se pueden conectar en serie al inversor, es crucial calcular las temperaturas mínima y máxima a las que estarán expuestos los paneles, ya que estas temperaturas influyen en la tensión generada y en vacío de los paneles.

La temperatura mínima ( $T_{min}$ ) se considera en un peor escenario de  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , mientras que la temperatura máxima ( $T_{max}$ ) se determina utilizando una ecuación específica. La temperatura máxima ambiente en Valencia ( $T_{Amb\ max}$ ) es de  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , con una irradiación superficial de  $1000\text{ W/m}^2$ .

La temperatura de operación nominal de la célula (TOPN) para el panel seleccionado es de  $45 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Las características de temperatura de los paneles, incluyendo el coeficiente de temperatura  $\alpha_{OC}$  de  $0,26\%/^{\circ}\text{C}$ , se detallan en la ficha técnica del panel.

$$T_{max}(^{\circ}\text{C}) = T_{Amb\ max} + G \times \frac{(T_{OPN}-20)}{800\frac{\text{W}}{\text{m}^2}} = 40^{\circ}\text{C} + 1000\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \times \frac{(47-20)^{\circ}\text{C}}{800\frac{\text{W}}{\text{m}^2}} = 73,75\text{ }^{\circ}\text{C} \quad (4)$$

Según las características técnicas del panel, el rango de temperatura de operación es de  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ . De la ecuación, se obtiene que los paneles pueden estar sometidos a temperaturas máximas de  $73,75\text{ }^{\circ}\text{C}$ , lo cual está dentro de este rango de operación.

Para poder calcular el número de paneles en serie por MPPT necesitamos la tabla de temperaturas del panel:

#### Clasificaciones de temperatura (STC)

Coeficiente de temperatura de $I_{sc}$	$+0,050\text{ } \%/^{\circ}\text{C}$
Coeficiente de temperatura de $V_{oc}$	$-0,230\text{ } \%/^{\circ}\text{C}$
Coeficiente de temperatura de $P_{max}$	$-0,290\text{ } \%/^{\circ}\text{C}$

Una vez ya con la tabla de coeficientes de temperaturas del panel, tenemos que calcular el número máximo y mínimo de paneles en serie por string.

Empezaremos por el número de paneles mínimo, para ello calcularemos primero la tensión mínima en vacío de cada panel ( $V_{OC\ min}$ ), para el cual tenemos que tener en cuenta la tensión nominal de trabajo ( $V_{MP}$ ) con una irradiación de  $800\text{ W/m}^2$

$$V_{OC\ min}(V) = V_{MP} \times \left[ 1 + \alpha_{OC} \times \frac{T_{max}-25^{\circ}\text{C}}{100} \right] \quad a \quad \text{Temperatura min} \quad (5)$$

$$V_{OC\ min}(V) = 40,75 \times \left[ 1 + (-0,23) \times \frac{73,75 - 25^{\circ}\text{C}}{100} \right] = 36,18\text{ V}$$

Una vez calculada la tensión mínima en vacío por panel, procederemos a calcular el número mínimo de paneles por string de MPPT ( $N^{\circ} \text{paneles}_{MPPT \min}$ ), para el cual tendremos en cuenta que la tensión mínima de entrada por MPPT ( $V_{MPPT \min}$ ) del inversor es de 250 V.

$$N^{\circ} \text{paneles}_{MPPT \min} \geq \frac{V_{MPPT \min}}{V_{OC \min}} \quad (6)$$

$$N^{\circ} \text{paneles}_{MPPT \min} \geq \frac{250}{36,18} \approx 7 \text{ paneles}$$

Tras calcular el número mínimo de paneles por string, ahora calcularemos el número máximo de paneles por string, para ello calcularemos primero la tensión máxima en vacío por cada panel ( $V_{OC \max}$ )

$$V_{OC \max} (V) = V_{oc} \times \left[ 1 + \alpha_{OC} \times \frac{T_{\min} - 25^{\circ}C}{100} \right] \text{ a Temperatura min (7)}$$

$$V_{OC \max} (V) = 52,81 \times \left[ 1 + (-0,23) \times \frac{-10 - 25^{\circ}C}{100} \right] = 57,06 V$$

Una vez calculada la tensión máxima en vacío por panel, procederemos a calcular el número máximo de paneles por string de MPPT ( $N^{\circ} \text{paneles}_{MPPT \max}$ ), para el cual tendremos en cuenta que la tensión máxima de entrada por MPPT ( $V_{MPPT \max}$ ) del inversor es de 1100V.

$$N^{\circ} \text{paneles}_{MPPT \max} \geq \frac{V_{MPPT \max}}{V_{OC \max}} \quad (8)$$

$$N^{\circ} \text{paneles}_{MPPT \max} \geq \frac{1100}{57,06} \approx 19 \text{ paneles}$$

Por lo tanto, tras calcular el número mínimo y máximo de paneles por string, nuestro número de paneles será de 12 paneles por string, cumpliendo así con el número mínimo y máximo obtenidos, excepto en 3 casos excepcionales que utilizaremos más:

$$7 \text{ paneles} \geq 12 \text{ paneles} \geq 19 \text{ paneles}$$

$$7 \text{ paneles} \geq 15 \text{ paneles} \geq 19 \text{ paneles}$$

$$7 \text{ paneles} \geq 16 \text{ paneles} \geq 19 \text{ paneles}$$

Como tenemos el número máximo y mínimo de paneles por string, podemos calcular la tensión máxima y mínima por string:

$$V_{MAX \text{ string}} = V_{OC \max} \times N^{\circ} \text{paneles}_{MPPT \max} = 57,06 \times 16 = 912.96 V \quad (9)$$

$$V_{MIN \text{ string}} = V_{OC \min} \times N^{\circ} \text{paneles}_{MPPT \min} = 36,18 \times 12 = 434.16 V \quad (10)$$

Por lo que la distribución de nuestra instalación para el primer inversor será la siguiente:

1º Inversor SMA Sunny Tripower CORE2					
	Entradas de CC	Nº de módulos en serie	Pn (kWp)	Imp (A)	Vmp (V)
MPPT A	String 1	12	7,2	13,44	535,92
	String 2	12	7,2	13,44	535,92
MPPT B	String 3	12	7,2	13,44	535,92
	String 4	12	7,2	13,44	535,92
MPPT C	String 5	12	7,2	13,44	535,92
	String 6	12	7,2	13,44	535,92
MPPT D	String 7	12	7,2	13,44	535,92
	String 8	12	7,2	13,44	535,92
MPPT E	String 9	12	7,2	13,44	535,92
	String 10	12	7,2	13,44	535,92
MPPT F	String 11	12	7,2	13,44	535,92
	String 12	12	7,2	13,44	535,92
MPPT G	String 13	12	7,2	13,44	535,92
	String 14	12	7,2	13,44	535,92
MPPT H	String 15	16	9,6	13,44	714,56
	String 16	-	-	-	-
MPPT I	String 17	-	-	-	-
	String 18	-	-	-	-
MPPT J	String 19	-	-	-	-
	String 20	-	-	-	-
MPPT K	String 21	-	-	-	-
	String 22	-	-	-	-
MPPT L	String 23	-	-	-	-
	String 24	-	-	-	-

La cual está dividida en 14 strings de 12 paneles por string y un único string de 16 paneles, llegando así a 184 paneles fotovoltaicos para el inversor número 1, con un total de 110,4 kWp.

1º Inversor	SMA Sunny Tripower CORE2
Nº Total de módulos	184
Pn Total (kW)	110,4

La distribución para nuestro segundo inversor será:

2º Inversor SMA Sunny Tripower CORE2					
	Entradas de CC	Nº de módulos en serie	Pn (kWp)	Imp (A)	Vmp (V)
MPPT A	String 1	12	7,2	13,44	535,92
	String 2	12	7,2	13,44	535,92
MPPT B	String 3	12	7,2	13,44	535,92
	String 4	12	7,2	13,44	535,92
MPPT C	String 5	12	7,2	13,44	535,92
	String 6	12	7,2	13,44	535,92
MPPT D	String 7	12	7,2	13,44	535,92
	String 8	12	7,2	13,44	535,92
MPPT E	String 9	12	7,2	13,44	535,92
	String 10	12	7,2	13,44	535,92
MPPT F	String 11	12	7,2	13,44	535,92
	String 12	12	7,2	13,44	535,92
MPPT G	String 13	12	7,2	13,44	535,92
	String 14	12	7,2	13,44	535,92
MPPT H	String 15	15	9	13,44	669,9
	String 16	-	-	-	-
MPPT I	String 17	-	-	-	-
	String 18	-	-	-	-
MPPT J	String 19	-	-	-	-
	String 20	-	-	-	-
MPPT K	String 21	-	-	-	-
	String 22	-	-	-	-
MPPT L	String 23	-	-	-	-
	String 24	-	-	-	-

La cual esta dividida en 14 strings de 12 paneles por string y un único string de 15 paneles, llegando así a 183 paneles fotovoltaicos para el inversor numero 2, con un total de 109,8kWp.

2º Inversor	SMA Sunny Tripower CORE2
Nº Total de módulos	183
Pn Total (kW)	109,8

Por último, la distribución para nuestro tercer inversor será:

3º Inversor SMA Sunny Tripower CORE2					
	Entradas de CC	Nº de módulos en serie	Pn (kWp)	Imp (A)	Vmp (V)
MPPT A	String 1	12	7,2	13,44	535,92
	String 2	12	7,2	13,44	535,92
MPPT B	String 3	12	7,2	13,44	535,92
	String 4	12	7,2	13,44	535,92
MPPT C	String 5	12	7,2	13,44	535,92
	String 6	12	7,2	13,44	535,92
MPPT D	String 7	12	7,2	13,44	535,92
	String 8	12	7,2	13,44	535,92
MPPT E	String 9	12	7,2	13,44	535,92
	String 10	12	7,2	13,44	535,92
MPPT F	String 11	12	7,2	13,44	535,92
	String 12	12	7,2	13,44	535,92
MPPT G	String 13	12	7,2	13,44	535,92
	String 14	12	7,2	13,44	535,92
MPPT H	String 15	15	9	13,44	669,9
	String 16	-	-	-	-
MPPT I	String 17	-	-	-	-
	String 18	-	-	-	-
MPPT J	String 19	-	-	-	-
	String 20	-	-	-	-
MPPT K	String 21	-	-	-	-
	String 22	-	-	-	-
MPPT L	String 23	-	-	-	-
	String 24	-	-	-	-

El cual está dividida en 14 strings de 12 paneles por string y un único string de 15 paneles, llegando así a 183 paneles fotovoltaicos para el inversor número 1, con un total de 109,8 kWp.

3º Inversor	SMA Sunny Tripower CORE2
Nº Total de módulos	183
Pn Total (kW)	109,8

### 3.4 Cálculo de Secciones

Para el cálculo de sección de las instalaciones se han considerado las prescripciones que indican la ITC-BT-07, ITC-BT-19, ITC-BT-40 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión y el pliego de condiciones del IDAE. Para determinar la sección de los cables, calcularemos la sección mínima normalizada que satisface las siguientes condiciones:

- *Cálculo de sección del cable por Criterio Térmico*
- *Cálculo de sección del cable por criterio de Caída de Tensión*

Nuestra instalación esta dividida en varios tramos diferentes siendo estos:

- Cableado de Corriente Continua (FV)
- Cableado de Corriente Alterna (del inversor)
- Cable de puesta a tierra

Los criterios para el dimensionado del cableado incluyen:

- La caída de tensión máxima entre el generador y el punto de interconexión a la Red de Distribución Pública o a la instalación interior es del 1,5%
- La corriente de diseño debe ser al menos el 125% de la corriente máxima del generador.

Se utilizarán conductores de cobre, por lo que su resistividad se calculará de la siguiente manera:

$$p_{cu}(\theta) = p_{cu(20^{\circ}C)} \times (1 + \alpha \times (T_{\theta} - 20^{\circ}C)) \quad (11)$$

Según norma UNE 20003 (IEC 28) Cobre-tipo recocido e industrial, para aplicaciones eléctricas.

$$p_{cu}(\theta) = \frac{1}{58} \frac{\Omega \text{ mm}^2}{m}$$

$$\alpha = 0,00393 \frac{1}{^{\circ}C}$$

$$p_{cu(90)} = \frac{1}{58} \frac{\Omega \text{ mm}^2}{m} \times \left( 1 + 0,00393 \frac{1}{^{\circ}C} \times (90^{\circ}C - 20^{\circ}C) \right) = 0,021982724 \frac{\Omega \text{ mm}^2}{m}$$

### 3.4.1 Sección del Cableado de Corriente Continua

Este tramo de corriente continua conecta la salida de los strings de los paneles solares con la entrada del MPPT del inversor usando cables unipolares para el dimensionado de la sección del cableado, se empleará la corriente de cortocircuito ( $I_{SC}$ ) ya que es la máxima que podrá circular por el cable.

Como referencia para la muestra del cálculo, tomaremos nuestra línea más desfavorable, siendo esta la de nuestro primer inversor, exactamente en el string número 15.

Donde nuestra tensión máxima por string ( $V_{MAX\ string}$ ) es de (714,56 V), la longitud de la línea (L) es de (70 m) y la intensidad (I) es de (13,44 A)

Nº de Paneles	Potencia Rama (kW)	Tensión Max (V)	Intensidad (A)	Longitud (m)
16	9,6 Kw	714,56 V	13,44	70

#### Por criterio de Caída de Tensión

Para una línea monofásica se emplea la ecuación:

$$\Delta V_{DC}(\%) = \frac{2 \times p(\theta) \times L \times I_B}{S \times U_N} \times 100 \quad (12)$$

Donde:

- $S$  = Sección del cable ( $mm^2$ )
- $L$  = Longitud del cable en (m)
- $p(\theta)$  = Resistividad del cobre ( $\frac{m}{\Omega mm^2}$ )
- $U_N$  = Tensión nominal (V)
- $I_B$  = Intensidad de diseño (W)
- $\Delta V_{DC}$  = Caída de tensión (%)

#### Por criterio Térmico

Para el dimensionamiento del cable en función de la intensidad máxima admisible se considera el 125% de la intensidad máxima que va a transportar el cable de corriente continua. En este caso, la intensidad máxima que circulará por los paneles corresponde a su valor de corriente de cortocircuito o nominal ( $I_{SC}$ ), considerando el coeficiente de temperatura.



Se tendrá en cuenta la tabla de intensidades admisibles de la ITC-BT 19, para verificar que cumple.

			3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR						
<b>A</b>		Conductores aislados en tubos empotrados en paredes aislantes											
<b>A2</b>		Cables multiconductores en tubos empotrados en paredes aislantes	3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR						
<b>B</b>		Conductores aislados en tubos <sup>2)</sup> en montaje superficial o empotrados en obra				3x PVC	2x PVC			3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR		
<b>B2</b>		Cables multiconductores en tubos <sup>2)</sup> en montaje superficial o empotrados en obra		3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR			2x XLPE o EPR			
<b>C</b>		Cables multiconductores directamente sobre la pared <sup>1)</sup>				3x PVC	2x PVC			3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR		
<b>E</b>		Cables multiconductores al aire libre <sup>2)</sup> . Distancia a la pared no inferior a 0.3D <sup>2)</sup>					3x PVC			2x PVC	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR	
<b>F</b>		Cables unipolares en contacto mutuo <sup>4)</sup> . Distancia a la pared no inferior a D <sup>4)</sup>						3x PVC				3x XLPE o EPR <sup>1)</sup>	
<b>G</b>		Cables unipolares separados mínimo D <sup>5)</sup>									3x PVC <sup>1)</sup>	3x XLPE o EPR	
		mm <sup>2</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>Cobre</b>		1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	-	18	21	24	-
		2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	-	25	29	33	-
		4	20	21	23	24	27	30	-	34	38	45	-
		6	25	27	30	32	36	37	-	44	49	57	-
		10	34	37	40	44	50	52	-	60	68	76	-
		16	45	49	54	59	66	70	-	80	91	105	-
		25	59	64	70	77	84	88	96	106	116	123	166
		35		77	86	96	104	110	119	131	144	154	206
		50		94	103	117	125	133	145	159	175	188	250
		70				149	160	171	188	202	224	244	321
		95				180	194	207	230	245	271	296	391
		120				208	225	240	267	284	314	348	455
		150				236	260	278	310	338	363	404	525
		185				268	297	317	354	386	415	464	601
	240				315	350	374	419	455	490	552	711	
	300				360	404	423	484	524	565	640	821	

$$I_B = 1,25 \times I_N$$

$I_N$  = Intensidad nominal de la línea

$I_B$  = Intensidad de diseño de la línea

## Cálculo

$$I_B = 1,25 \times I_N$$
$$I_B = 1,25 \times 13,44 = 16,8 \text{ A}$$

Supondremos una caída de tensión ( $\Delta V_{DC}$ ) aproximadamente de 1,5%. La ecuación (11) considera la resistividad del cable a una temperatura 90 °C, por lo tanto,

$$S \geq \frac{2 \times p(\theta) \times L \times I_B}{\Delta V_{DC} (\%) \times U_N} \times 100$$

$$S_{DC \text{ MIN}} \geq \frac{2 \times 0,021982724 \times 70 \times 16,8}{1,5 \times 714,56} \times 100 \geq 4,82 \text{ mm}^2$$

Se obtiene que la sección tiene que ser mayor o igual que 4,82 mm<sup>2</sup> por criterio de caída de tensión, una vez acudimos a la tabla de intensidades admisibles de la ITC-BT 19 escogeremos teniendo en cuenta el criterio térmico también, una tipología de montaje A2 para [2x XLPE o EPR] de cobre con sección de 6 mm<sup>2</sup>, cuya intensidad es de 36 A.

Siguiendo la fórmula (12), la caída de tensión para una sección de 6 mm<sup>2</sup> es:

$$\Delta V_{DC} (\%) \geq \frac{2 \times p(\theta) \times L \times I_B}{S \times U_N} \times 100 = \frac{2 \times 0,021982724 \times 70 \times 16,8}{6 \times 714,56} \times 100 = 1,206 \%$$

$$V_{DC} = \frac{1,206 \times 714,56}{100} = 8,62 \text{ V}$$

De este modo, en la instalación existirán:

-144 Cable RV1 – K (AS) 1,8 kV, DC 06/1 Kv, con una sección de 6mm<sup>2</sup>, 36 A de intensidad máxima admisible.

INVERSOR 1									
String	Nº Paneles	Potencia (kW)	Tensión Max (V)	Intensidad (A)	Longitud (m)	Sección Min (mm <sup>2</sup> )	Sección escogida (mm <sup>2</sup> )	C.D.T (%)	C.D.T (V)
1	12	7,2	535,92	13,44	20	1,84	6	0,46%	2,46
2	12	7,2	535,92	13,44	30	2,76	6	0,69%	3,69
3	12	7,2	535,92	13,44	30	2,76	6	0,69%	3,69
4	12	7,2	535,92	13,44	30	2,76	6	0,69%	3,69
5	12	7,2	535,92	13,44	30	2,76	6	0,69%	3,69
6	12	7,2	535,92	13,44	40	3,68	6	0,92%	4,92
7	12	7,2	535,92	13,44	40	3,68	6	0,92%	4,92
8	12	7,2	535,92	13,44	40	3,68	6	0,92%	4,92
9	12	7,2	535,92	13,44	40	3,68	6	0,92%	4,92
10	12	7,2	535,92	13,44	40	3,68	6	0,92%	4,92
11	12	7,2	535,92	13,44	50	4,59	6	1,15%	6,16
12	12	7,2	535,92	13,44	50	4,59	6	1,15%	6,16
13	12	7,2	535,92	13,44	50	4,59	6	1,15%	6,16
14	12	7,2	535,92	13,44	50	4,59	6	1,15%	6,16
15	16	9,6	714,56	13,44	70	4,82	6	1,21%	8,62

INVERSOR 2									
String	Nº Paneles	Potencia (kW)	Tensión Max (V)	Intensidad (A)	Longitud (m)	Sección Min (mm <sup>2</sup> )	Sección escogida (mm <sup>2</sup> )	C.D.T (%)	C.D.T (V)
1	12	7,2	535,92	13,44	20	1,84	6	0,46%	2,46
2	12	7,2	535,92	13,44	30	2,76	6	0,69%	3,69
3	12	7,2	535,92	13,44	30	2,76	6	0,69%	3,69
4	12	7,2	535,92	13,44	30	2,76	6	0,69%	3,69
5	12	7,2	535,92	13,44	30	2,76	6	0,69%	3,69
6	12	7,2	535,92	13,44	40	3,68	6	0,92%	4,92
7	12	7,2	535,92	13,44	40	3,68	6	0,92%	4,92
8	12	7,2	535,92	13,44	40	3,68	6	0,92%	4,92
9	12	7,2	535,92	13,44	40	3,68	6	0,92%	4,92
10	12	7,2	535,92	13,44	40	3,68	6	0,92%	4,92
11	12	7,2	535,92	13,44	50	4,59	6	1,15%	6,16
12	12	7,2	535,92	13,44	50	4,59	6	1,15%	6,16
13	12	7,2	535,92	13,44	50	4,59	6	1,15%	6,16
14	12	7,2	535,92	13,44	50	4,59	6	1,15%	6,16
15	15	9	669,9	13,44	70	5,15	6	1,29%	8,62

INVERSOR 3									
String	Nº Paneles	Potencia (kW)	Tensión Max (V)	Intensidad (A)	Longitud (m)	Sección Min (mm <sup>2</sup> )	Sección escogida (mm <sup>2</sup> )	C.D.T (%)	C.D.T (V)
1	12	7,2	535,92	13,44	20	1,84	6	0,46%	2,46
2	12	7,2	535,92	13,44	30	2,76	6	0,69%	3,69
3	12	7,2	535,92	13,44	30	2,76	6	0,69%	3,69
4	12	7,2	535,92	13,44	30	2,76	6	0,69%	3,69
5	12	7,2	535,92	13,44	30	2,76	6	0,69%	3,69
6	12	7,2	535,92	13,44	40	3,68	6	0,92%	4,92
7	12	7,2	535,92	13,44	40	3,68	6	0,92%	4,92
8	12	7,2	535,92	13,44	40	3,68	6	0,92%	4,92
9	12	7,2	535,92	13,44	40	3,68	6	0,92%	4,92
10	12	7,2	535,92	13,44	40	3,68	6	0,92%	4,92
11	12	7,2	535,92	13,44	50	4,59	6	1,15%	6,16
12	12	7,2	535,92	13,44	50	4,59	6	1,15%	6,16
13	12	7,2	535,92	13,44	50	4,59	6	1,15%	6,16
14	12	7,2	535,92	13,44	50	4,59	6	1,15%	6,16
15	15	9	669,9	13,44	70	5,15	6	1,29%	8,62

### 3.4.2 Sección del Cableado de Corriente Alterna

Este tramo de corriente alterna conecta la salida del inversor con la entrada al cuadro general de red. Mediante el criterio de caída de tensión se limitará la caída de tensión a máximo 1,5 % de la tensión de línea a línea de la red según pliego de instalaciones IDEA.

Como referencia para la muestra del cálculo, tomaremos nuestra línea más desfavorable, siendo esta la de nuestro primer inversor:

Potencia (kW)	Tensión (V)	Intensidad (A)	Longitud (m)
110,4 Kw	400 V	201,6	10

#### Por criterio de Caída de Tensión

Para una línea trifásica se emplea la ecuación:

$$\Delta V_{DC}(\%) = \frac{\sqrt{3} \times L \times \left( \frac{P(\theta)}{S} \times \cos \theta + X_u \times \sin \theta \right) \times I_B}{U_N} \times 100 \quad (13)$$

Donde:

- $S$  = Sección del cable ( $mm^2$ )
- $L$  = Longitud del cable en (m)
- $\rho(\theta)$  = Resistividad del cobre ( $\frac{m}{\Omega mm^2}$ )
- $U_N$  = Tensión nominal (V)
- $I_B$  = Intensidad de diseño (W)
- $\Delta V_{DC}$  = Caída de tensión (%)
- $\cos \theta$  = Factor de potencia
- $x_u$  = Reactancia

$$I = \frac{P_c}{\sqrt{3} x U x \cos(\theta)} (A) \quad (14)$$

Donde:

- $P_c$  = Potencia activa de cálculo (W)
- $U$  = Tensión de línea (V)
- $\cos(\theta)$  = Factor de potencia

Para el cálculo de las líneas no se tendrá en cuenta el valor de la reactancia, puesto que los inversores cuentan con factor de potencia regulable, y se ajustará para que alcance valor unitario ( $\cos(\theta) = 1$ ).

### Por criterio Térmico

Para el dimensionamiento del cable en función de la intensidad máxima admisible se considera el 125% del sumatorio de intensidades que transportan los cables de corriente continua. Se tendrá en cuenta la tabla de intensidades admisibles de la ITC-BT 19, para verificar que cumple.

$$I_B = 1,25 x I_N$$

$I_N$  = Intensidad nominal de la línea

$I_B$  = Intensidad de diseño de la línea

### Cálculo

$$I = \frac{P_c}{\sqrt{3} x U x \cos(\theta)}$$

$$I = \frac{110400}{\sqrt{3} \times 400 \times 1} = 159,35 \text{ A}$$

$$I_B = 1,25 \times I$$

$$I_B = 1,25 \times 159,35 = 199,18 \text{ A}$$

Supondremos una caída de tensión ( $\Delta V_{AC}$ ) aproximadamente de 1,5%. La ecuación (11) considera la resistividad del cable a una temperatura 90 °C, por lo tanto,

$$S \geq \frac{\sqrt{3} \times L \times (p(\theta) \times \cos \theta) \times I_B}{U_N \times \Delta V_{DC}(\%)} \times 100$$

$$S \geq \frac{\sqrt{3} \times 10 \times (0,021982724 \times 1) \times 199,18}{400 \times 1,5} \times 100 \geq 12,64 \text{ mm}^2$$

Se obtiene que la sección tiene que ser mayor o igual que 12,64 mm<sup>2</sup> por criterio de caída de tensión, una vez acudimos a la tabla de intensidades admisibles de la ITC-BT 19 escogeremos teniendo en cuenta el criterio térmico también, una tipología de montaje F para [3x XLPE o EPR] de cobre con sección de 70 mm<sup>2</sup>, cuya intensidad es de 244 A.

Siguiendo la fórmula (13), la caída de tensión para una sección de 70 mm<sup>2</sup> es:

$$\Delta V_{DC}(\%) = \frac{\sqrt{3} \times L \times \left( \frac{p(\theta)}{S} \times \cos \theta + X_u \times \sin \theta \right) \times I_B}{U_N} \times 100$$

$$\Delta V_{DC}(\%) = \frac{\sqrt{3} \times 10 \times \left( \frac{0,021982724}{70} \times 1 + 0 \right) \times 199,18}{400} \times 100 = 0,27\%$$

$$V_{DC} = \frac{0,26 \times 400}{100} = 1,08 \text{ V}$$

De este modo, en la instalación existirán:

- 9 Cables RZ1 – K (AS), DC 06/1 kV AC. Con una sección de 70mm<sup>2</sup>, 244 A de intensidad máxima admisible.

INVERSOR a CGBT									
String	Potencia (kW)	Tensión (V)	Intensidad (A)	I diseño (A)	Longitud (m)	Sección Criterio CDT (mm <sup>2</sup> )	Sección Criterio Termico (mm <sup>2</sup> )	C.D.T (%)	C.D.T (V)
1	110,4	400	159,35	199,18	10	12,64	70	0,271	1,083
2	109,8		158,48	198,10	10	12,57	70	0,269	1,078
3	109,8		158,48	198,10	10	12,57	70	0,269	1,078

### 3.4.3 Sección del Cableado de puesta a Tierra

La sección de los conductores de protección será diferente dependiendo del tramo de cableado donde se encuentren:

Secciones de los conductores de fase o polares de la instalación (mm <sup>2</sup> )	Secciones mínimas de los conductores de protección (mm <sup>2</sup> )
$S \leq 16$	S (*)
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	S/2

a) Módulos solares – Inversor

Sección Conductores de fase = 6 (mm<sup>2</sup>) → S Conductores de protección = 6 (mm<sup>2</sup>)

b) Inversor – Red de baja tensión

Sección Conductores de fase = 70 (mm<sup>2</sup>) → S Conductores de protección = 50 (mm<sup>2</sup>)

### 3.5 Cálculo de Protecciones

Al igual que para el cálculo del cableado de la instalación, el cálculo de protecciones se realizará independientemente para cada uno de los circuitos que forman la instalación, diferenciando entre tramos de corriente continua y de corriente alterna, ya que las protecciones deberán ser distintas para cada tramo dependiendo la naturaleza continua o alterna del tramo y al valor de corriente admisible por los conductores.

Aunque los fusibles e interruptores para corriente continua son diferentes a los de corriente alterna, su cálculo es similar; según la norma ITC-BT-22 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, un dispositivo protege contra sobrecargas a un conductor si se verifican las siguientes condiciones:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

$$I_2 \leq I_Z \times 1,45$$

Donde:

$I_N$  = Intensidad nominal

$I_B$  = Intensidad de diseño de la línea

$I_Z$  = Intensidad máxima admisible

$I_2$  = Intensidad convencional de funcionamiento

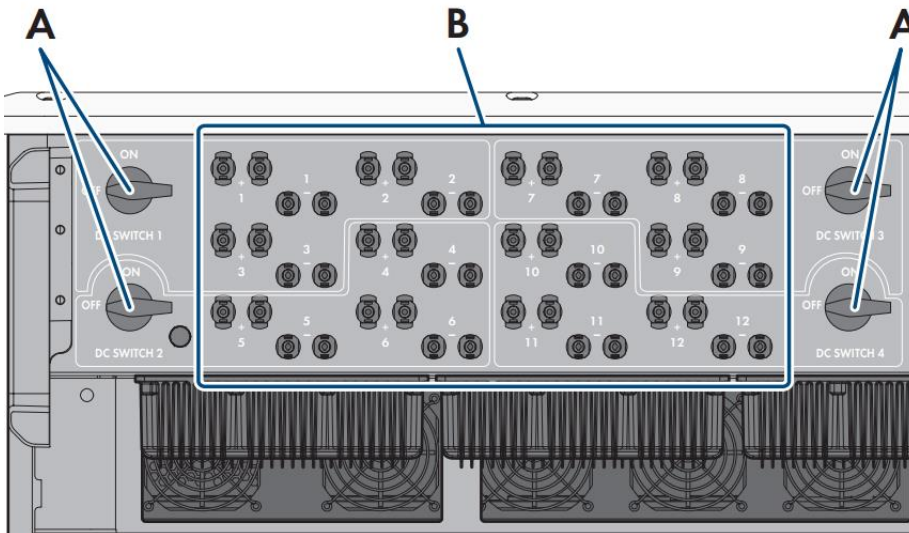
En la protección por magnetotérmico normalizado se cumple siempre la segunda condición por que  $I_2 \leq I_N \times 1,45$ , por lo que solo se debe verificar la primera condición.

En la protección por fusible tipo gG, se cumple que  $I_2 \leq I_N \times 1,6$  por lo que deben verificarse las dos condiciones de la norma.

El cálculo de protecciones se realizará dividiendo la instalación en dos grupos, uno de corriente continua y otro de corriente alterna, cada grupo será a su vez dividido en los diferentes tramos de cableado que forma la instalación solar fotovoltaica.



### 3.5.1 Protección de Corriente Continua



Posición	Denominación
A	Interruptor-seccionador de potencia de CC
B	Conector de enchufe positivo y negativo para la conexión de CC

Interruptor seccionador: Los interruptores de corriente continua vienen instalados, tal y como muestra la imagen, y tendrán la función de aislar zonas del generador para labores de mantenimiento de los módulos solares como limpieza y reparación de incidencias. Estos interruptores proporcionarán un aislamiento eficaz de los ramales pertenecientes a la instalación fotovoltaica.

Fusible: A cada ramal de módulos del generador fotovoltaico, se instalarán fusibles para la protección contra sobrecargas para evitar que se sobrepasen valores de corrientes superiores a las admisibles por los conductores y equipos de la instalación. Se colocarán dos fusibles por cada tramo, uno para cada uno de los conductores de polaridad positiva y otro para cada uno de los conductores de polaridad negativa.

La sección del conductor que forma este tramo de instalación es de  $6(\text{mm}^2)$ , por lo que los parámetros a utilizar para el dimensionado de los fusibles serán:

$$I_B = 13,44 \text{ A}$$

$$I_Z = 36 \text{ A}$$

Por tanto, para que se cumpla la condición, como mínimo la corriente nominal del fusible será:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$
$$13,44 \leq I_N \leq 36$$
$$13,44 \leq I_N \leq 36 \rightarrow I_N = 16A$$

A continuación, se calculará la corriente convencional de fusión de este fusible comprobándose si la dimensión del fusible es la correcta o por el contrario debe buscarse un valor mayor que cumpla  $I_2 \leq I_Z \times 1,45$  :

$$I_2 = I_N \times 1,6 = 16 \times 1,6 = 25,6 A$$
$$I_2 \leq I_Z \times 1,45 \rightarrow 25,6 \leq 36 \times 1,45 \rightarrow 25,6 \leq 52,2$$

Como podemos observar, el fusibles de 16 A 1000V DC escogido es idóneo para nuestra instalación, ya que cumple con las condiciones impuestas, por lo que serán necesarios 90 fusibles de este modelo.

### 3.5.2 Protección de Corriente Alterna

Las protecciones de alterna estarán ubicadas aguas abajo del inversor, para la protección de los circuitos y conexión a red interior de la instalación.

Las protecciones de corriente alterna, se diseñarán para la protección del último tramo del circuito. Por consiguiente, las protecciones que se instalaran en este tramo son; un interruptor general manual (magnetotérmico) y un interruptor automático diferencial.

Interruptor general manual: Se trata de un interruptor magnetotérmico diseñado para funcionar con corriente alterna. Para la elección del interruptor magnetotérmico se utilizarán las ecuaciones mencionadas anteriormente:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

$$I_2 \leq I_Z \times 1,45$$

Como se ha indicado en el tramo anterior, los interruptores magnetotérmicos siempre cumplen la condición  $I_2 \leq I_Z \times 1,45$  ya que la intensidad convencional de disparo de los interruptores magnetotérmicos siempre es  $I_2 = I_Z \times 1,45$ , por lo tanto, únicamente se utilizará la condición  $I_B \leq I_N \leq I_Z$  para dimensionar el magnetotérmico adecuado.

Para el cálculo de la intensidad nominal del interruptor a utilizar en este tramo, es necesario calcular la corriente máxima admisible por los conductores y la corriente normal de empleo que se producirá en este tramo. La sección de los conductores de este tramo es de 70 ( $mm^2$ ), por lo tanto, la corriente máxima admisible por los conductores es:

$$I_Z = 244 \text{ A}$$

El valor de la intensidad normal de funcionamiento que circulara por el tramo vendrá dado por la potencia máxima que el inversor puede entregar a la red, que es de 100kW y la tensión a la cual se realizara la conexión, 400V, teniendo en cuenta que según el Pliego de Condiciones Técnicas del IDAE, el factor de potencia proporcionado por las instalaciones solares fotovoltaicas debe ser igual a la unidad:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times U \times \cos(\theta)} = \frac{109800}{\sqrt{3} \times 400 \times 1} = 158,48 \text{ A}$$

El valor de la intensidad nominal del interruptor magnetotérmico a utilizar será:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

$$158,48 \leq I_N \leq 160 \rightarrow \leq I_N = 160 \text{ A}$$

El interruptor magnetotérmico tendrá una intensidad nominal de 160A en la línea del inversor y el punto de conexión a la red de baja tensión. Se ha seleccionado un seccionador de 4 polos AC.



Interruptor diferencial: Los interruptores diferenciales proporcionan protección a las personas contra descargas eléctricas, tanto en el caso de contactos directos como contactos indirectos y también protección a las instalaciones ya que detectan las fugas a tierra midiendo la corriente que circula por los conductores.

Según la norma ITC-BT-25 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, los interruptores diferenciales deben poseer una intensidad diferencial-residual máxima de 30mA para aplicaciones domésticas y 300mA para otras aplicaciones e intensidad asignada igual que la del interruptor general.

Se ha escogido un bloque tetrapolar diferencial de 160A con sensibilidad 300mA.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

## 4. PLIEGO DE CONDICIONES

### **TRABAJO FIN DE GRADO**

AUTOR: Salvador Maquin, Giannpier Alexander

TUTOR: García Martínez, Miguel

CURSO ACADÉMICO: 2022/2030

## 4.1 Objeto

En el siguiente apartado del pliego de condiciones se establecen las especificaciones técnicas mínimas que deben cumplir las instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a la red. Este documento sirve como guía para instaladores y fabricantes de equipos, definiendo los requisitos esenciales para garantizar la calidad de las instalaciones, en beneficio del usuario y del desarrollo de esta tecnología. La calidad final de la instalación se evaluará según su rendimiento, producción e integración.

El ámbito de aplicación de este Pliego de Condiciones Técnicas abarca todos los sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos que forman parte de las instalaciones. En ciertos casos, los proyectos podrán adoptar soluciones distintas a las exigidas en este pliego, siempre que su necesidad esté justificada y no reduzcan las exigencias mínimas de calidad especificadas.

Este Pliego de Condiciones Técnicas está asociado a las líneas de ayudas para la promoción de instalaciones de energía solar fotovoltaica dentro del Plan de Fomento de Energías Renovables.

## 4.2 Condiciones generales

### 4.2.1 Condiciones generales de la instalación

Como principio general, se debe garantizar, al menos, un grado de aislamiento eléctrico de tipo básico clase I para equipos (módulos e inversores) y materiales (conductores, cajas y armarios de conexión), excepto para el cableado de continua, que será de doble aislamiento.

La instalación debe incorporar todos los elementos y características necesarios para asegurar la calidad del suministro eléctrico en todo momento. El funcionamiento de la instalación fotovoltaica no debe causar averías, reducciones en las condiciones de seguridad ni alteraciones superiores a las permitidas por la normativa aplicable en la red.

Además, el funcionamiento de la instalación no debe generar condiciones peligrosas de trabajo para el personal de mantenimiento y explotación de la red de distribución. Los materiales expuestos al exterior deben estar protegidos contra los agentes ambientales, especialmente contra la radiación solar y la humedad.

Se incluirán todos los elementos de seguridad y protecciones necesarios para las personas y la instalación fotovoltaica, asegurando la protección frente a contactos directos e indirectos, cortocircuitos, sobrecargas, así como otros elementos y protecciones exigidos por la legislación vigente.

Por motivos de seguridad y operación, los indicadores, etiquetas y demás señalizaciones de los equipos estarán en alguna de las lenguas españolas oficiales del lugar de la instalación.

#### 4.2.2 Paneles Solares

Todos los módulos deberán cumplir con las especificaciones UNE-EN 61215 y 61730 para módulos de silicio cristalino, o UNE-EN 61646 para módulos fotovoltaicos de capa delgada. Asimismo, deberán estar certificados por algún laboratorio reconocido, como el Laboratorio de Energía Solar Fotovoltaica del Departamento de Energías Renovables del CIEMAT, el Joint Research Centre Ispra, TÜV, entre otros, lo cual se acreditará mediante la presentación del certificado oficial correspondiente.

Cada módulo fotovoltaico debe llevar de forma claramente visible e indeleble el modelo, el nombre o logotipo del fabricante, así como una identificación individual o número de serie que permita rastrear la fecha de fabricación. Se utilizarán módulos que cumplan con las siguientes características técnicas:

- Los módulos deben incorporar diodos de derivación para evitar posibles averías de las células y sus circuitos debido a sombreados parciales y deben tener un grado de protección IP65.
- Los marcos laterales, si están presentes, serán de aluminio.
- Para que un módulo sea aceptable, su potencia máxima y corriente de cortocircuito reales, referidas a condiciones estándar, deben estar dentro del margen del  $\pm 3 \%$  de los valores nominales del catálogo.
- Se rechazará cualquier módulo que presente defectos de fabricación, como roturas o manchas en cualquiera de sus elementos, falta de alineación en las células o burbujas en el encapsulado.

La estructura del generador se conectará a tierra. Por motivos de seguridad y para facilitar el mantenimiento y reparación del generador, se instalarán los elementos necesarios (fusibles, interruptores, etc.) para la desconexión independiente de cada una de las ramas del resto del generador, en ambos terminales.

Los módulos fotovoltaicos estarán garantizados por el fabricante durante un período mínimo de 10 años y contarán con una garantía de rendimiento durante 25 años, asegurando al menos el 90% de la producción a los 10 años y el 80% a los 25 años.

## 4.2.2 Inversores

Los inversores serán escogidos adecuadamente para la instalación, con una potencia de entrada variable que permita extraer en todo momento la máxima potencia que el generador fotovoltaico puede proporcionar a lo largo del día.

Las características básicas de los inversores serán las siguientes:

- Principio de funcionamiento: fuente de corriente.
- Autoconmutados.
- Seguimiento automático del punto de máxima potencia del generador.

Los inversores cumplirán con las directivas comunitarias de Seguridad Eléctrica y Compatibilidad Electromagnética, certificadas por el fabricante, e incluirán protecciones frente a:

- Cortocircuitos en alterna.
- Tensión de red fuera de rango.
- Frecuencia de red fuera de rango.
- Sobretensiones mediante varistores o similares.
- Perturbaciones en la red como microcortes, pulsos, defectos de ciclos, ausencia y retorno de la red, etc.

Cada inversor dispondrá de las señalizaciones necesarias para su correcta operación, e incorporará los controles automáticos imprescindibles para asegurar su adecuada supervisión y manejo. Además, cada inversor incluirá, al menos, los siguientes controles manuales:

- Encendido y apagado general del inversor.
- Conexión y desconexión del inversor a la interfaz CA (que podrá ser externo al inversor).

Los inversores tendrán un grado de protección mínima de IP 20 para aquellos en el interior de edificios y lugares inaccesibles, IP 30 para los ubicados en el exterior de edificios y lugares accesibles, y de IP 65 para los instalados a la intemperie, cumpliendo siempre con la legislación vigente.

Los inversores estarán garantizados para operar en un rango de temperaturas entre 0 °C y 40 °C y con una humedad relativa entre 0 % y 85 %.



### 4.2.3 Cableado

Los conductores positivos y negativos de cada grupo de módulos se llevarán por separado y estarán protegidos según la normativa vigente. Serán de cobre y tendrán la sección adecuada para evitar caídas de tensión y sobrecalentamientos. Específicamente, los conductores de la parte de corriente continua (CC) deberán tener una sección suficiente para mantener una caída de tensión inferior al 1,5%, mientras que los de la parte de corriente alterna (CA) deberán mantener una caída de tensión inferior al 2%. En ambos casos, la referencia serán las tensiones correspondientes a las cajas de conexiones, incluyendo toda la longitud del cableado tanto de CC como de CA.

La longitud de los cables debe ser suficiente para evitar tensiones en los diversos componentes y prevenir posibles enganches durante el tránsito normal de personas. Todo el cableado de continua será de doble aislamiento y adecuado para su uso en intemperie, tanto al aire libre como enterrado, cumpliendo con la norma UNE 21123. Los cables se instalarán dentro de tubos o canales, fijados directamente a las paredes.

Las canalizaciones eléctricas se dispondrán de manera que permita la identificación conveniente de sus circuitos y elementos, facilitando reparaciones o posibles modificaciones. Los conductores de la instalación deben ser fácilmente identificables mediante los colores de sus aislamientos. El conductor neutro se identificará con el color azul claro, el conductor de protección con el color verde-amarillo, y los conductores de fase con los colores marrón, negro o gris.

### 4.2.3 Protecciones

Los elementos de protección estarán alojados en diferentes cajas de conexión destinadas a la protección contra manipulación y agentes atmosféricos dañinos para los mismos. Se instalarán dos tipos de cajas de protecciones, para las conexiones y protecciones de CC y para las conexiones y protecciones de CA.

Se instalará un cuadro de tamaño suficiente con IP65 para agrupar y proteger todas las series desde donde saldremos con todas las series la entrada a inversor. El cuadro de primer nivel CC1 constará de:

- 90 portafusibles tipo 10x38 16A 1000 V CC
- 90 fusibles 16A CC

A la salida del inversor y antes de la conexión en el punto de red interior, instalaremos un cuadro de protecciones de CA. Este cuadro constará de:

- Cuadro IP65
- Interruptor seccionador CA 160A 4 polos AC
- Relé diferencial 160A/300mA

## 4.3 Mantenimiento

Se ha diseñado un plan de mantenimiento para garantizar el funcionamiento óptimo de la instalación fotovoltaica a lo largo de la vida útil de sus componentes.

Actualmente, la herramienta más eficaz para el mantenimiento es la monitorización de la producción que proporcionan los propios equipos, ya que ofrece una lectura en tiempo real de los parámetros esenciales de la instalación. Esto permite no solo la detección temprana de fallos en el momento en que ocurren (mantenimiento correctivo), sino también la identificación de posibles fallos futuros basados en un funcionamiento anómalo específico (mantenimiento predictivo).

Sin embargo, esta monitorización solo cubre una parte del mantenimiento, ya que existen parámetros que no pueden verificarse de manera constante y cuya revisión periódica puede prevenir futuros fallos de funcionamiento (mantenimiento preventivo).

Se definen dos escalones de actuación para abarcar todas las operaciones necesarias durante la vida útil de la instalación, asegurando su funcionamiento, aumentando la producción y prolongando su duración:

-Plan de mantenimiento preventivo: Este plan incluye operaciones de inspección visual, verificación de actuaciones y otras medidas que, aplicadas a la instalación, deben mantener las condiciones de funcionamiento, prestaciones, protección y durabilidad dentro de límites aceptables.

-Plan de mantenimiento correctivo: Este plan abarca todas las operaciones de sustitución necesarias para asegurar que el sistema funcione correctamente durante su vida útil. Incluye:

- Visitas a la instalación en los plazos indicados y cada vez que el usuario lo requiera por una avería grave.
- Análisis y elaboración del presupuesto de los trabajos y reposiciones necesarias para el correcto funcionamiento de la instalación.
- Los costes económicos del mantenimiento correctivo forman parte del precio anual del contrato de mantenimiento, aunque pueden no incluir ni la mano de obra ni las reposiciones de equipos necesarias más allá del período de garantía.

El mantenimiento debe ser realizado por personal técnico cualificado bajo la responsabilidad de la empresa instaladora.

Mantenimiento preventivo de la instalación: Este incluirá, al menos, una visita anual para instalaciones de potencia hasta 100 kWp y semestral para el resto. Durante estas visitas se llevarán a cabo las siguientes actividades:

- Comprobación de las protecciones eléctricas.
- Comprobación del estado de los módulos, incluyendo la verificación de su situación respecto al proyecto original y el estado de las conexiones.

## 4.4 Seguridad y salud

En este apartado se encontrará el estudio de seguridad y salud obligatorio, necesario para obtener el permiso de obra por parte de las autoridades pertinentes de la instalación eléctrica fotovoltaica conectada a red interior que se realizará en Laser Manufacturing S.L.

Se tendrá en cuenta que la instalación fotovoltaica trabajará a baja tensión por lo que los trabajos realizados sobre la misma serán los adecuados para estos valores de tensión. Al trabajar con energía eléctrica se pondrá especial atención a la seguridad de la instalación conectando todos los equipos metálicos a un conductor de protección a tierra cumpliendo toda la normativa descrita a continuación.

### 4.4.1 Normativa

La normativa aplicable para la seguridad y salud en las obras de construcción está detallada en el Real Decreto 1627/1997, publicado en el BOE. Este decreto define el Estudio de Seguridad y Salud, el Estudio Básico de Seguridad y Salud, y el Plan de Seguridad y Salud en el Trabajo.

Para una obra de pequeñas dimensiones, con un presupuesto inferior a 450.000 €, una duración menor a 30 días laborables con más de 20 trabajadores presentes simultáneamente, un total de días de trabajo inferior a 500, y sin construcción de túneles ni galerías subterráneas, es suficiente realizar un Estudio Básico de Seguridad y Salud.

De acuerdo con la normativa vigente, el Estudio Básico de Seguridad y Salud debe identificar todos los riesgos laborales, especificando las medidas técnicas necesarias para evitar aquellos riesgos que puedan ser evitados, y las medidas de prevención y protección para los riesgos que no puedan ser evitados.

Para garantizar la seguridad de los trabajadores durante la ejecución de la obra, se utilizará la siguiente normativa:

- Estatuto de los trabajadores.
- Plan Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo (BOE 11.3.71).
- Comités de Seguridad e Higiene en el Trabajo (BOE 16.3.71).
- Reglamento de Seguridad e Higiene en la Industria de la Construcción (BOE 15.6.52).
- Homologación de los medios de protección personal de los trabajadores (BOE 29.5.74).
- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (BOE 9.10.73).
- Convenio Colectivo Provincial de la Construcción.
- Obligatoriedad de la inclusión de un Estudio de Seguridad e Higiene en el Trabajo en los proyectos de edificación (BOE 24.3.86).
- Ley de Prevención de Riesgos Laborales (Ley 31/1995, BOE 8.11.95).

## 4.4.2 Definición de riesgos

A continuación, se analizarán los riesgos asociados a las actividades de ejecución de la obra, así como los relacionados con la utilización de maquinaria y herramientas, y la manipulación de instalaciones eléctricas.

Para que el Estudio Básico de Seguridad y Salud sea más eficiente, se procederá primero al análisis de los riesgos generales que pueden ocurrir en cualquier actividad y que pueden afectar tanto a los operarios de la obra como a terceras personas en las inmediaciones. Posteriormente, se realizará un estudio de los riesgos más específicos de cada actividad.

### 4.4.2.1 Riesgos Generales

Los riesgos generales son aquellos que pueden presentarse en cualquier actividad de ejecución de la obra y afectar a todas las personas involucradas. Los riesgos previstos incluyen:

- Caída de objetos o componentes de la instalación sobre personas.
- Caída de personas al mismo o a distinto nivel.
- Proyecciones de partículas a los ojos.
- Conjuntivitis provocada por arco de soldadura u otras fuentes.
- Heridas y quemaduras en manos o pies por manejo de materiales.
- Sobreesfuerzos y lesiones musculares.
- Golpes y cortes por el manejo de herramientas.
- Heridas por objetos punzantes o cortantes.
- Golpes contra objetos.
- Quemaduras por contactos térmicos.
- Exposición a descargas eléctricas.
- Atropellos o golpes por vehículos en movimiento.

### 4.4.2.2 Riesgos Específicos

Ahora se procederá a la identificación de los riesgos específicos presentes en cada una de las actividades del proceso de ejecución de la obra. Además de los riesgos generales ya mencionados, estos riesgos específicos afectan únicamente al personal encargado de cada actividad.

### **Transporte de materiales**

- Sobreesfuerzos y lesiones musculares.
- Riesgo de golpes con materiales transportados.
- Caída de objetos a la misma o distinta altura.
- Daños en instalaciones cercanas a las áreas de descarga de materiales.
- Choques y vuelcos entre maquinaria de transporte.

### **Montaje de equipos**

- Caída de objetos sobre el personal encargado del montaje.
- Caídas a diferente nivel del personal encargado del montaje.
- Cortes y heridas debidas a la manipulación de herramientas cortantes.
- Riesgo de descargas eléctricas directas o indirectas durante la conexión de equipos.
- Caídas de los soportes de módulos durante su montaje.
- Quemaduras.
- Proyecciones de partículas a los ojos.
- Incendios.

## **4.4.3 Medidas de prevención y protecciones**

Se destacarán dos tipos de medidas de prevención y protección ante riesgos laborales, dependiendo de si las medidas son aplicables a la obra en general o específicas para los operarios encargados de ejecutarla.

### **4.4.3.1 Medidas de prevención y protecciones generales**

- Se acondicionarán los terrenos destinados a la obra y el tránsito de personal, recogiendo escombros o materiales indeseados periódicamente para evitar tropiezos o lesiones de los trabajadores.
- Si se utilizara algún tipo de andamio para la ejecución de la obra, este será metálico y estará provisto de barandillas y redes para evitar caídas de personal u objetos.

- Si se utilizasen escaleras de mano para el montaje de equipos, deberán ser del tipo "tijera" con soportes antideslizantes y no podrán utilizarse para formar andamios.
- El material eléctrico estará almacenado en lugares sin humedad y será manipulado únicamente por personal eléctrico cualificado.
- Las conexiones en los cuadros provisionales de obra se realizarán mediante enchufes macho-hembra y, una vez terminada la obra, se procederá a revisar las conexiones de los cuadros ya fijos.
- Las herramientas utilizadas estarán protegidas con material aislante para evitar descargas eléctricas.

#### 4.4.3.2 Medidas de prevención y protecciones personales

Las medidas de prevención y protección de riesgos laborales se centran en la indumentaria del personal que ejecuta la obra:

- Casco de seguridad homologado según la Norma Técnica Reglamentaria M.T.1 para evitar golpes en la cabeza y caídas accidentales de materiales. Su uso será obligatorio y personal.
- Botas de protección con punta de acero homologadas según la Norma Técnica Reglamentaria M.T.5 para proteger los pies de golpes y proporcionar aislamiento contra descargas eléctricas.
- Guantes y herramientas aislantes homologados de acuerdo con la Norma Técnica Reglamentaria M.T.4 y M.T.26 para tareas de conexionado eléctrico.
- Gafas protectoras contra proyecciones hacia los ojos, homologadas según la Norma Técnica Reglamentaria M.T.16.
- Guantes de cuero o material resistente homologados según la Norma Técnica Reglamentaria M.T.11 para evitar cortes y quemaduras durante la manipulación de herramientas.
- Cascos protectores contra ruidos superiores a 80dB, homologados según la Norma Técnica Reglamentaria M.T.2.
- Arnés o cinturones de seguridad homologados según la Norma Técnica Reglamentaria M.T.13 para prevenir caídas desde lugares elevados.
- Mascarillas protectoras homologadas según la Norma Técnica Reglamentaria M.T.7 para proteger las vías respiratorias del polvo generado por el corte de materiales cerámicos y metálicos.

Todos estos elementos de protección personal tienen un período de vida útil limitado; una vez sobrepasado este período, la protección que ofrecen se reduce y deberán ser sustituidos por nuevos equipos.

#### 4.4.4 Asistencia a accidentados

La atención, tratamiento y rehabilitación de posibles accidentados serán responsabilidad de la mutua de accidentes de la empresa contratista. En la obra, se dispondrá de un botiquín de urgencias que contenga los elementos necesarios para asistir pequeños traumatismos y proporcionar primeros auxilios a los accidentados, conforme a lo estipulado en el capítulo IV, artículo 43 de la Ordenanza General de Seguridad e Higiene.

##### 4.4.4.1 Control Médico

La legislación vigente establece que todos los trabajadores involucrados en la construcción de las obras contempladas en este estudio deberán someterse a los reconocimientos médicos necesarios, de acuerdo con los riesgos asociados a su oficio u ocupación.

##### 4.4.4.2 Charla general de Seguridad y Primeros Auxilios

Antes de comenzar sus actividades, todo el personal asistirá a una sesión informativa en la que se les proporcionarán detalles sobre los riesgos generales asociados a la obra, las medidas establecidas para su realización, las normativas de seguridad que deben cumplirse obligatoriamente, y los procedimientos básicos de primeros auxilios.

##### 4.4.4.2 Charla sobre Riesgos Específicos

Las sesiones informativas estarán dirigidas a los grupos de trabajadores expuestos a riesgos específicos según las actividades que desempeñen. Estas sesiones serán impartidas por los mandos directos de los trabajos o por los responsables de seguridad.



## 4.5 Garantía

### 4.5.1 Ámbito general de garantía

La instalación será reparada conforme a estas condiciones generales en caso de avería causada por defectos de montaje o de componentes, siempre que se haya manipulado de acuerdo con el manual de instrucciones. La garantía se concede al comprador de la instalación, quien deberá demostrar su derecho mediante el correspondiente certificado de garantía, con la fecha de la certificación de la instalación.

### 4.5.2 Plazos

El suministrador garantizará la instalación durante un período mínimo de 2 años, cubriendo todos los materiales utilizados y el procedimiento de montaje. Para los módulos fotovoltaicos, la garantía mínima será la establecida por el fabricante. En caso de que se interrumpa la explotación del suministro debido a causas atribuibles al suministrador, o por reparaciones necesarias para cumplir con las condiciones de la garantía, el plazo de garantía se extenderá por la duración total de dichas interrupciones.

### 4.5.3 Condiciones económicas

La garantía comprende la reparación o reposición de los componentes defectuosos y la mano de obra necesaria durante el período de garantía. También se incluirán todos los gastos asociados, tales como desplazamientos, transporte, amortización de vehículos y herramientas, y portes para recogida y devolución de equipos para su reparación. Asimismo, se cubrirá la mano de obra y los materiales necesarios para realizar ajustes y reglajes en el funcionamiento de la instalación.

### 4.5.4 Incumplimiento de la garantía

Si el suministrador no cumple con las obligaciones derivadas de la garantía en un plazo razonable, el comprador de la instalación podrá, mediante notificación escrita, fijar una fecha límite para el cumplimiento de dichas obligaciones. Si el suministrador no subsana el incumplimiento en el plazo estipulado, el comprador podrá realizar las reparaciones por sí mismo o contratar a un tercero para ello, a cuenta y riesgo del suministrador, sin perjuicio de la reclamación por daños y perjuicios que pudiera corresponder.





## 5. PRESUPUESTO

### **TRABAJO FIN DE GRADO**

AUTOR: Salvador Maquin, Giannpier Alexander

TUTOR: García Martínez, Miguel

CURSO ACADÉMICO: 2022/2030

El apartado de presupuestos tiene como objetivo detallar y justificar los costos asociados al proyecto de instalación. Este proyecto, orientado a una implementación eficiente y sostenible de energía renovable, abarca diversas fases y componentes críticos que contribuyen a su ejecución exitosa. Los desglosamos de la siguiente manera:

### Modulos

En este primer apartado tendremos en cuenta el costo de los módulos por €/Wp y además los honorarios de los instaladores y peones.

Partida	P01. Módulos FV			
Cantidad	Unidad	Descripción	Precio (€/Unidad)	Importe (€)
330000	Wp	Panel Fv - LR5-72HTH 600M de LONGI 600W	0,134	44220
100	h	Instalación de los paneles	25	2500
<b>Importe Total</b>				<b>46.720,00 €</b>

### Estructura

En el segundo apartado, veremos el precio de la estructura necesaria para colocar los módulos, a demás de la mano de obra de los instaladores y peones.

Partida	P02. Estructura			
Cantidad	Unidad	Descripción	Precio (€/Ud)	Importe (€)
60	Ud	Kit coplanar K2 para 9 módulos instalados en vertical	356,72	21403,2
2	Ud	Kit coplanar K2 para 5 módulos instalados en vertical	203,87	407,74
120	h	Instalación de la estructura	25	3000
<b>Importe total</b>				<b>24.810,94 €</b>

### Inversores y Complementos

En el tercer apartado, veremos el precio de los inversores SMA, junto con los equipos de monitorización, de los accesorios y a demás de la mano de obra de los instaladores, peones y técnicos de planta que se encargarán de la puesta en marcha de los equipos.

Partida	P03. Inversores y complementos			
Cantidad	Unidad	Descripción	Precio (€/Unidad)	Importe (€)
3	Ud	Inversor SMA CORE 2 110 KW	7750	23250
1	Ud	Datamanager M SMA. Monitorización de la planta	1056,94	1056,94
1	Ud	Prisma 310A. Real Energy Systems. Inyección 0	1759,26	1759,26
3	Ud	Toroidales IAM 1000/5	107,2	321,6
15	h	Instalación de los inversores	25	375
4	h	Puesta en marcha de los equipos	150	600
<b>Importe Total</b>				<b>27.362,80 €</b>

### Cableado y Protecciones

En el cuarto apartado, veremos el precio del cableado necesario para conectar tanto los módulos con los inversores como los inversores con el CGBT, a demás de las protecciones que hay de por medio entre estos.

Partida	P04. Cableado y Protecciones			
Cantidad	Unidad	Descripción	Precio (€/Unidad)	Importe (€)
1900	m	Cable Rojo RV1-K 0,6/1 kV 1x6 mm <sup>2</sup>	1,15	2185
1900	m	Cable Negro RV1-K 0,6/1 kV 1x6 mm <sup>2</sup>	1,15	2185
100	m	Cable RZ1-K 0,6/1 kV 1x70 mm <sup>2</sup>	12,51	1251
90	Ud	Fusible 16A 1000VDC 10x38	6,58	592,2
90	Ud	Portafusible 1000VDC 10x38	4,5	405
3	Ud	Interruptor diferencial general 4P (160A / 300 mA)	239,99	719,97
3	Ud	Interruptor automático magnetotérmico 4P 160A	388,89	1166,67
Importe Total				8.504,84 €

### Tramitación y legalización

En el último apartado, veremos el precio de la realización del proyecto base, tanto la creación del proyecto como su legalización .

Partida	P05. Tramitación y legalización			
Cantidad	Unidad	Descripción	Precio (€/Unidad)	Importe (€)
1	Ud	Proyecto	15000	15000
	Ud	Documentación, tramitación y legalización	PA	0
Importe Total				15.000,00 €

## Resumen Presupuesto

Para finalizar, en el apartado del resumen, encontramos tanto el sumatorio de todas las partidas como, además los gastos generales, el beneficio industrial, la base imponible y el IVA.

Resumen			
Partida	Descripción	Cálculo	Importe
P01	Módulos FV	$C1 = \sum p_{ij}$	46.720,00 €
P02	Estructura	$C2 = \sum p_{ij}$	24.810,94 €
P03	Inversores y Complementos	$C3 = \sum p_{ij}$	27.362,80 €
P04	Cableado y Protección	$C4 = \sum p_{ij}$	8.504,84 €
P05	Tramitación y Legalización	$C5 = \sum p_{ij}$	15.000,00 €
PEM PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL			122.398,58 €
Gastos generales		$GG = 0,13 \times PEM$	15.911,82 €
Beneficio Industrial		$BI = 0,6 \times PEM$	73.439,15 €
Base Imponible		$B = PEM + GG + BI$	211.749,54 €
IVA (21%)		$IVA = 0,21 \times B$	44.467,40 €
Presupuesto de ejecución por contrato		$PEC = B + IVA$	256.216,95 €

El presupuesto final de este trabajo de fin de grado asciende a la cantidad de **DOS CIENTOS CINCUENTA Y SEIS MIL DOSCIENTOS DIECISEIS EUROS Y NOVENTA Y CINCO CENTIMOS**



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

## 6. ESTUDIO ECONÓMICO

### **TRABAJO FIN DE GRADO**

AUTOR: Salvador Maquin, Giannpier Alexander

TUTOR: García Martínez, Miguel

CURSO ACADÉMICO: 2022/2030

## 6.1 Análisis económico

En esta sección se analizan los flujos económicos directamente relacionados con la instalación. Se tendrán los consumos que tiene la empresa mensualmente mencionados en el apartado 2.6.1 y la producción de la planta mensualmente.

Para hallar una estimación de la producción mensual, con la ayuda de PVGIS podemos obtener los datos del Rendimiento del sistema fotovoltaico. Aportando la potencia pico instalada y teniendo en cuenta este a su vez, la irradiancia de la zona y las horas pico de sol. Se ha tenido en cuenta unas pérdidas del sistema de 14%.

Dándonos como resultado así:

MES	Consumo Mensual (kWh)	Producción FV mensual (kWh)
Enero	69735	36153
Febrero	59434	35581
Marzo	78083	43098
Abril	71274	43708
Mayo	88773	47891
Junio	86365	47863
Julio	95531	49969
Agosto	56510	48163
Septiembre	84398	42657
Octubre	87371	39311
Noviembre	86752	33515
Diciembre	58857	33854
<b>TOTAL</b>	<b>923083</b>	<b>501763</b>

Si tomamos como referencia el precio medio de la energía durante este periodo de 2024 (0,109€/kWh), el coste que obtenemos con respecto al consumo es:

MES	Consumo mensual (kWh)	Gasto mensual (€)
Enero	69735	7601,12
Febrero	59434	6478,31
Marzo	78083	8511,05
Abril	71274	7768,87
Mayo	88773	9676,26
Junio	86365	9413,79
Julio	95531	10412,88
Agosto	56510	6159,59
Septiembre	84398	9199,38
Octubre	87371	9523,44
Noviembre	86752	9455,97
Diciembre	58857	6415,41
<b>TOTAL</b>	<b>923083</b>	<b>100616,05</b>

Y el coste de nuestra energía ahorrada con nuestra producción FV con respecto al consumo es:

MES	Energía Ahorrada (kWh)	Ahorro Mensual (€)
Enero	33582	3660,44
Febrero	23853	2599,98
Marzo	34985	3813,37
Abril	27566	3004,69
Mayo	40882	4456,14
Junio	38502	4196,72
Julio	45562	4966,26
Agosto	8347	909,82
Septiembre	41741	4549,77
Octubre	48060	5238,54
Noviembre	53237	5802,83
Diciembre	25003	2725,33
<b>TOTAL</b>	<b>421320</b>	<b>45923,88</b>

De las tablas obtenidas, podemos destacar la energía anual ahorrada estimada de 421329 kWh, con un ahorro anual de 45923,88€. Si tenemos en cuenta que el consumo anual que tiene la empresa es de 923083 kWh y su coste anual es de 100616,05 €, se puede decir que al año se estaría ahorrando un 45% del coste anual.

## 6.2 Recuperación de la inversión

Para este apartado se ha tenido en cuenta los costes anuales que generan el consumo de la empresa y los ahorros anuales que se generan con la producción fotovoltaica.

Además, también se han tenido en cuenta los siguientes parámetros anuales:

- Pérdidas graduales en la generación: 2%
- Incremento de tarifa eléctrica: 1%
- Incremento del IPC: 1,5%
- Depreciación por mejora de competitividad energética: 0,3%

El análisis económico de la instalación fotovoltaica debe considerar diversos factores que afectan tanto a los ingresos como a los costos a lo largo de la vida útil del proyecto.

En primer lugar, las pérdidas en la generación fotovoltaica, que son inevitables debido al envejecimiento de los componentes y otros factores externos, resultan en una disminución progresiva de la producción de energía cada año. Esta reducción en la producción implica una disminución en los ingresos generados por la venta de energía o el ahorro en la factura eléctrica.

Por otro lado, el incremento de la tarifa eléctrica tiene un impacto positivo en los ahorros anuales del proyecto. A medida que aumenta el precio de la electricidad, el ahorro generado

por el autoconsumo también incrementa, dado que se reduce la necesidad de comprar electricidad de la red a un costo más alto.

Sin embargo, la depreciación por mejora de competitividad energética tiene un efecto adverso en el precio del pool, que es el precio al cual se vende la energía excedente a la red. La mejora en la competitividad y la integración de tecnologías más eficientes pueden reducir el precio del pool, afectando negativamente los ingresos por venta de energía.

El incremento del Índice de Precios al Consumidor (IPC) influye en los costos operativos de la instalación fotovoltaica. A medida que aumenta el IPC, los gastos de mantenimiento y operación también tienden a incrementarse. Se estima que los costos de mantenimiento anual de la instalación son aproximadamente 1000€, y este monto puede variar en función de las condiciones económicas y la inflación.

En resumen, el análisis económico de una instalación fotovoltaica debe considerar la interacción de estos factores: la disminución anual de la producción, el incremento de las tarifas eléctricas, la depreciación del precio del pool y el impacto del IPC en los costos operativos. Estos elementos son cruciales para una planificación financiera robusta y para la evaluación de la viabilidad y sostenibilidad del proyecto a largo plazo.

En la siguiente tabla se observan con detalle los flujos económicos de 10 años desde 2024 hasta 2034, periodo de estudio según los parámetros definidos:

Año	Producción Anual (kWh)	Ahorro FV Anual (€)	Costes mantenimiento (€)	Inversión FV	Cash-Flow	Ingresos acumulados
2024	421320,00	45.923,88 €	1.000,00 €	256.216,95 €	- 211.293,07 €	45.923,88 €
2025	412893,60	45.005,40 €	1.015,00 €	211.293,07 €	- 167.302,67 €	90.929,28 €
2026	404635,73	44.105,29 €	1.030,23 €	167.302,67 €	- 124.227,60 €	135.034,58 €
2027	396543,01	43.223,19 €	1.045,68 €	124.227,60 €	- 82.050,09 €	178.257,77 €
2028	388612,15	42.358,72 €	1.061,36 €	82.050,09 €	- 40.752,73 €	220.616,49 €
2029	380839,91	41.511,55 €	1.077,28 €	40.752,73 €	- 318,46 €	262.128,04 €
2030	373223,11	40.681,32 €	1.093,44 €	318,46 €	39.269,42 €	302.809,36 €
2031	365758,65	39.867,69 €	1.109,84 €	- 39.269,42 €	78.027,26 €	342.677,05 €
2032	358443,48	39.070,34 €	1.126,49 €	- 78.027,26 €	115.971,11 €	381.747,39 €
2033	351274,61	38.288,93 €	1.143,39 €	- 115.971,11 €	153.116,65 €	420.036,32 €
2034	344249,11	37.523,15 €	1.160,54 €	- 153.116,65 €	189.479,26 €	457.559,48 €

Como conclusión podemos destacar que la amortización de la instalación fotovoltaica empezará a partir del sexto año, en 2030, donde ya empezaremos a obtener beneficios.

### 6.3 Emisiones de CO2

Tenemos una instalación de 330 kWp (kilovatios pico) de potencia instalada, que produce unos 421320 kWh al año (kilovatios hora). Según el informe del sistema eléctrico español 2021 publicado por Red Eléctrica, el factor de emisión medio del sistema eléctrico nacional en 2021 fue de 0,201 kg CO<sub>2</sub>/kWh.

Por lo tanto, el CO<sub>2</sub> evitado por nuestra instalación sería: CO<sub>2</sub> evitado = 421.320 kWh x 0,201 kg CO<sub>2</sub>/kWh = 84685,32 kg CO<sub>2</sub>

Es decir, nuestra instalación fotovoltaica evitaría la emisión de más de 84 toneladas de CO<sub>2</sub> al año.





## 7. CONCLUSIÓN

### **TRABAJO FIN DE GRADO**

AUTOR: Salvador Maquin, Giannpier Alexander

TUTOR: García Martínez, Miguel

CURSO ACADÉMICO: 2022/2030

En esta memoria se ha dimensionado y justificado mediante cálculos la instalación de una planta solar fotovoltaica para autoconsumo con inyección 0, diseñada específicamente para no inyectar energía a la red. Esta planta tiene como objetivo proporcionar energía eléctrica a una nave industrial situada en el término municipal de Carlet.

Las conclusiones derivadas del proyecto son las siguientes:

Eficiencia y Rentabilidad de la Energía Solar: La energía solar es una opción cada vez más viable debido a varios factores. En primer lugar, los avances tecnológicos han permitido desarrollar instalaciones más eficientes. Además, los altos precios de la energía han hecho que la amortización de la inversión en tecnología solar sea rápida, lo que aumenta su atractivo económico.

Impacto Ambiental: La utilización de energías renovables, como la solar, es un paso crucial hacia la mejora del medio ambiente. Este tipo de energía ayuda a reducir la huella de carbono de nuestras actividades cotidianas, contribuyendo significativamente a la lucha contra el cambio climático.

Futuro de las Energías Renovables: En respuesta a la pregunta de si es posible dejar de depender de las energías basadas en combustibles fósiles en el futuro, la respuesta es afirmativa. Esta transición será posible si se continúa invirtiendo en instalaciones que permitan generar energía de manera más ecológica y eficiente, y si todos contribuimos a este esfuerzo colectivo.

Accesibilidad de la Tecnología: Finalmente, se considera que, a medida que los acumuladores de energía se vuelvan más económicos y eficientes, un mayor número de personas podrá desconectarse de la red eléctrica convencional. Esto no solo permitirá a los usuarios evitar el pago de facturas elevadas, sino que también contribuirá de manera más activa a la protección del medio ambiente.

En resumen, la instalación de una planta solar fotovoltaica para autoconsumo no solo es una inversión rentable y eficiente en el contexto actual, sino que también representa un compromiso con el medio ambiente y un paso hacia un futuro más sostenible y libre de combustibles fósiles.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

## 8. ANEXOS

### **TRABAJO FIN DE GRADO**

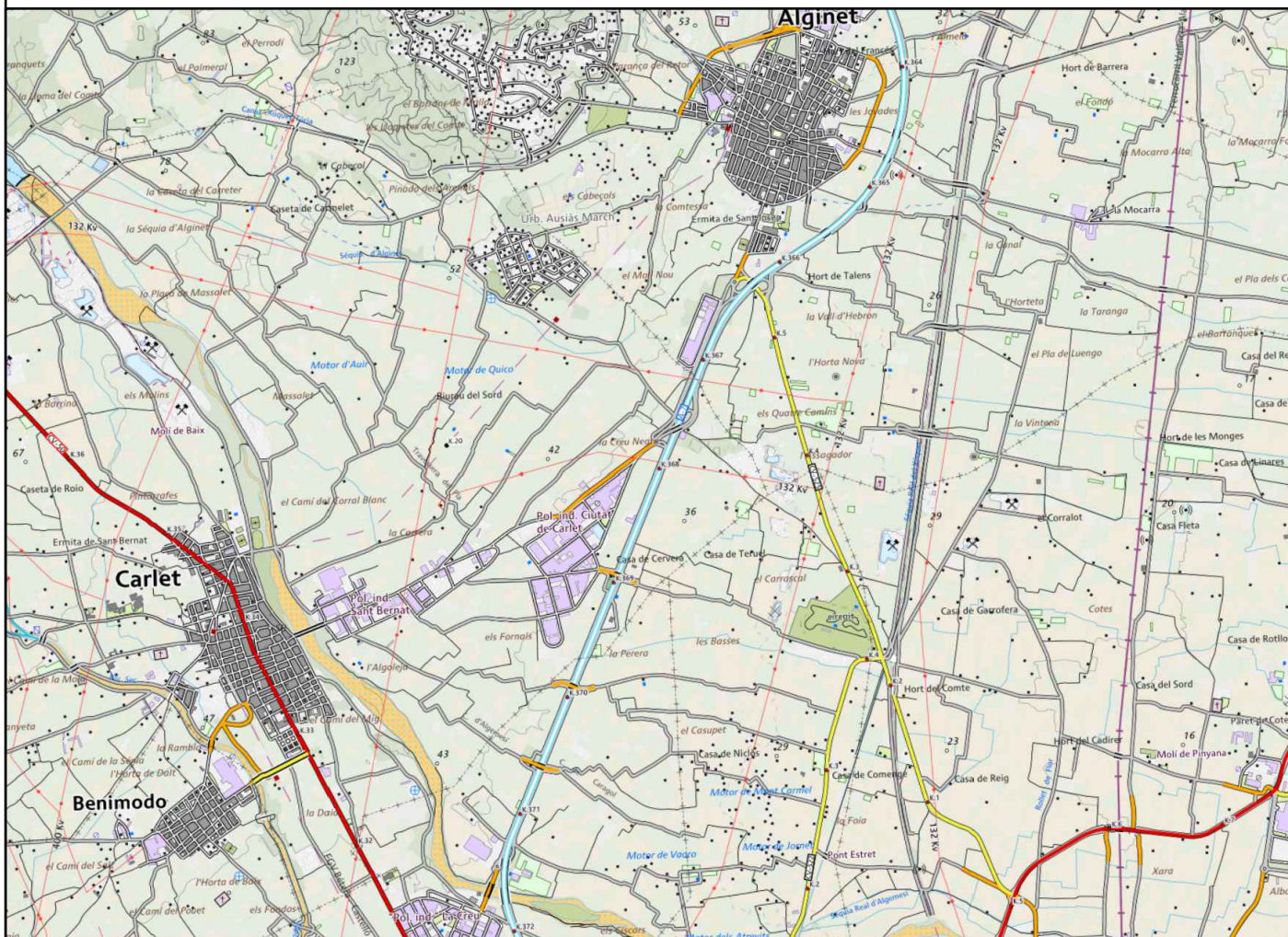
AUTOR: Salvador Maquin, Giannpier Alexander

TUTOR: García Martínez, Miguel

CURSO ACADÉMICO: 2022/2030







<b>Autor</b>	Giannpier Alexander Salvador Maquin	<b>Plano Topográfico</b>	
<b>Situación</b>	CL TRAMUNTANA 12		
<b>Escala</b> <b>S/E</b>	Instalación fotovoltaica de 300kW para autoconsumo con inyección 0 aplicada a una empresa dedicada al corte laser y mecanizado de metales	<b>Plano N° 2</b>	

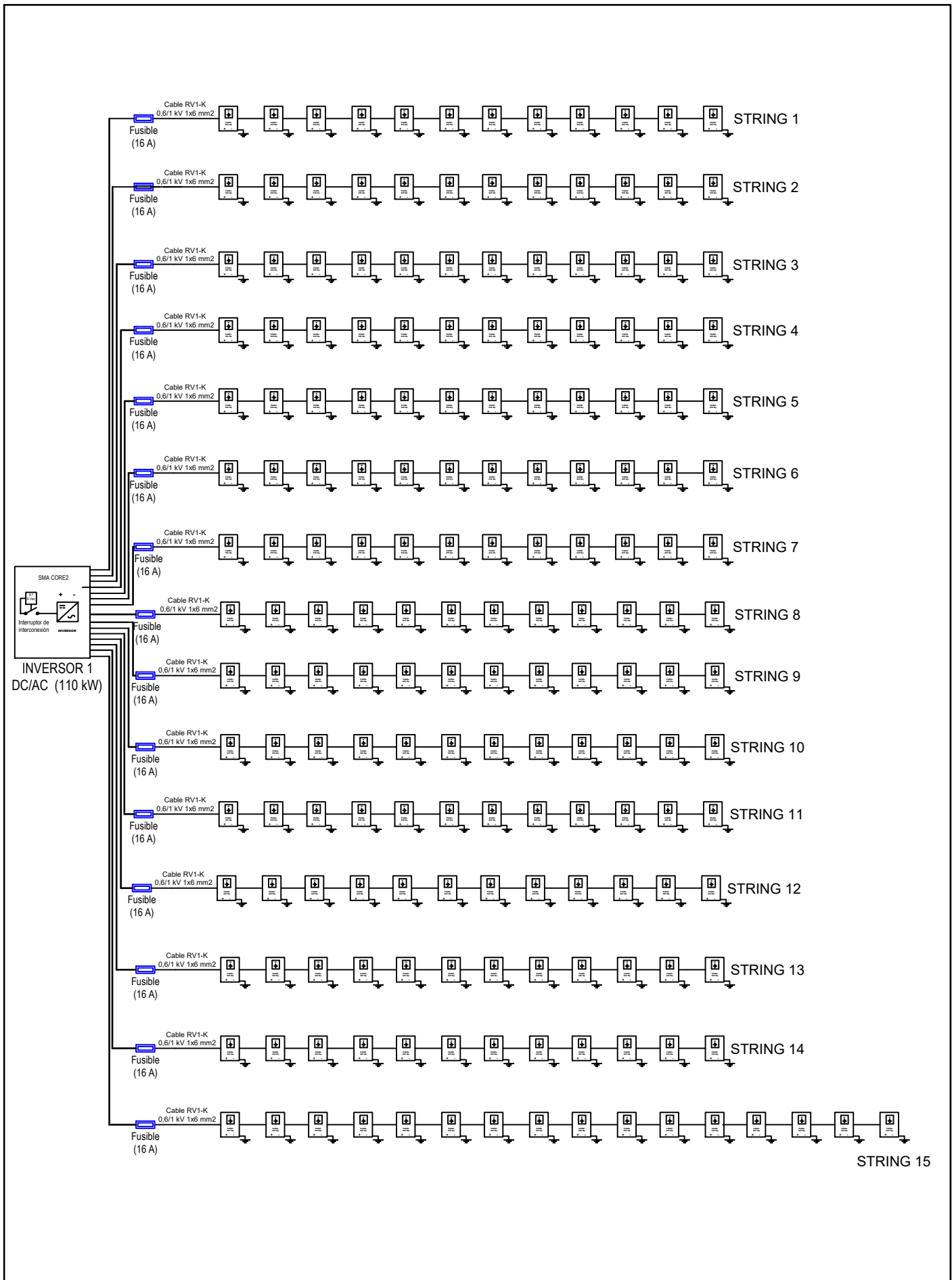


Autor	Giannpier Alexander Salvador Maquin	Plano Híbrido Visor GVA	
Situación	CL TRAMUNTANA 12		
Escala S/E	Instalación fotovoltaica de 300kW para autoconsumo con inyección 0 aplicada a una empresa dedicada al corte laser y mecanizado de metales	Plano N° 3	



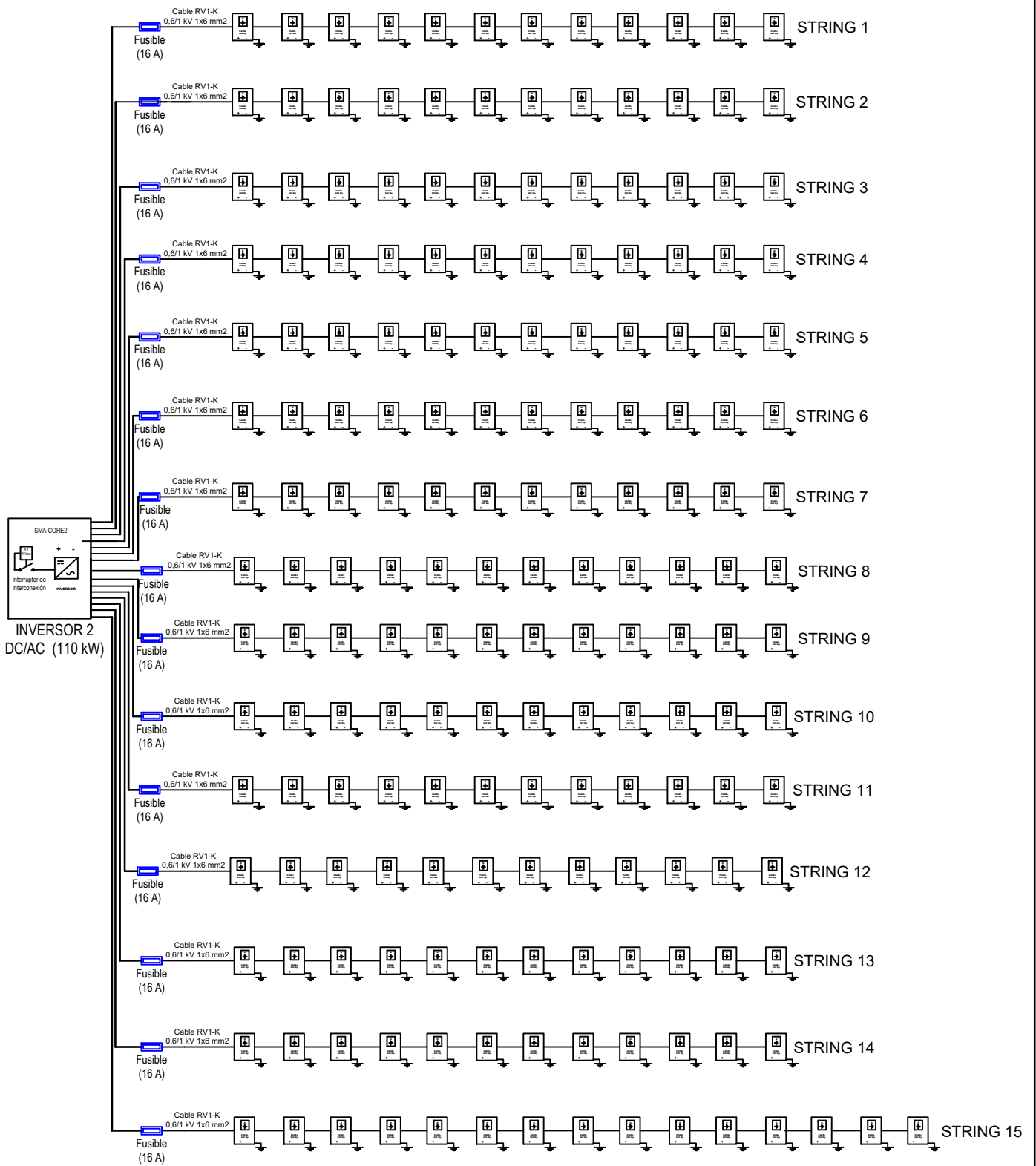


Autor	Giannpier Alexander Salvador Maquin	Plano Imagen Visor GVA	
Situación	CL TRAMUNTANA 12		
Escala S/E	Instalación fotovoltaica de 300kW para autoconsumo con inyección 0 aplicada a una empresa dedicada al corte laser y mecanizado de metales		Plano N° 4

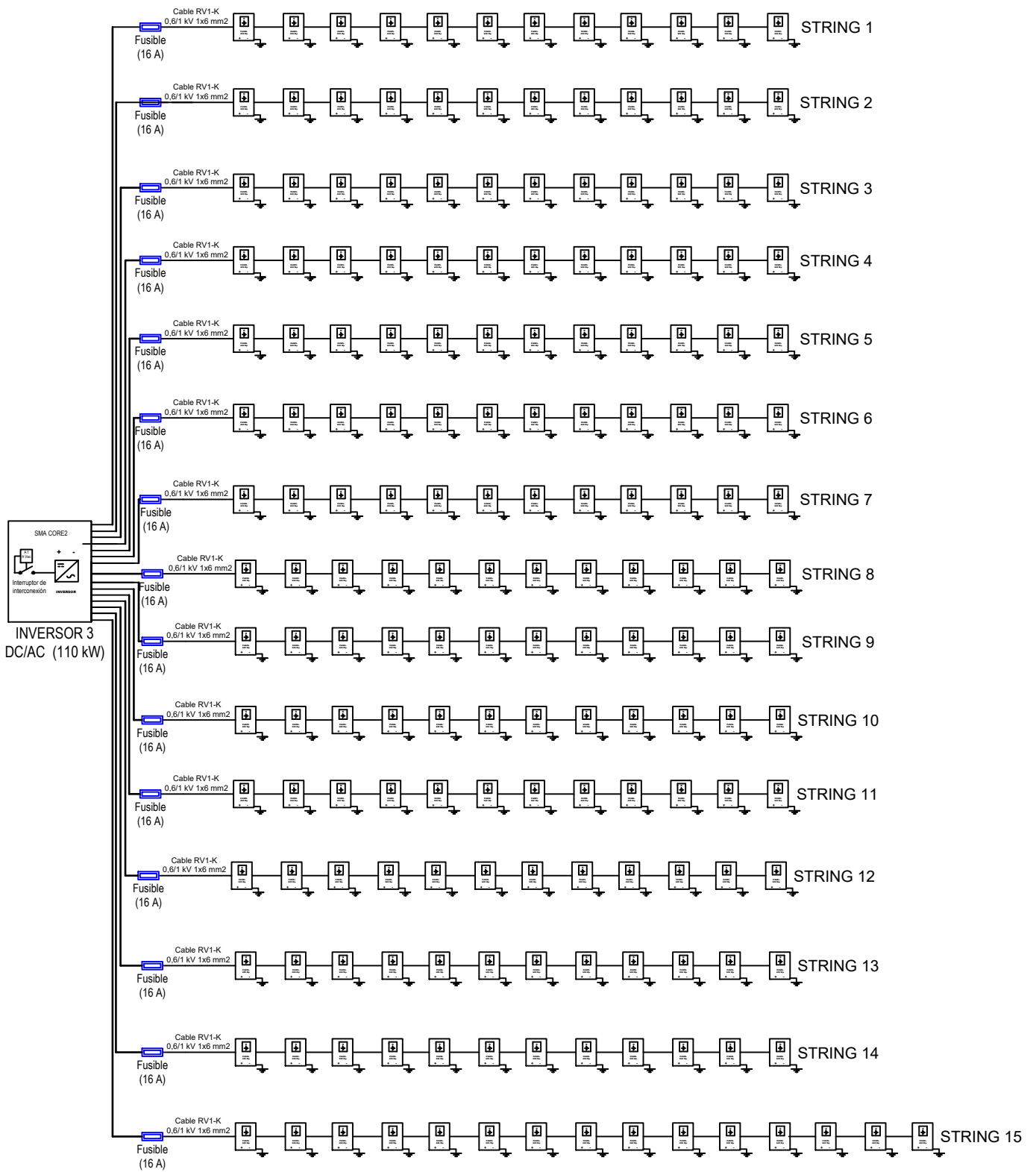


<b>Autor</b> <b>Situación</b>	Giannpier Alexander Salvador Maquin CL TRAMUNTANA 12	<b>Inversor N°1</b>	
<b>Escala</b> <b>S/E</b>	Instalación fotovoltaica de 300kW para autoconsumo con inyección 0 aplicada a una empresa dedicada al corte laser y mecanizado de metales		<b>Plano N° 5</b>

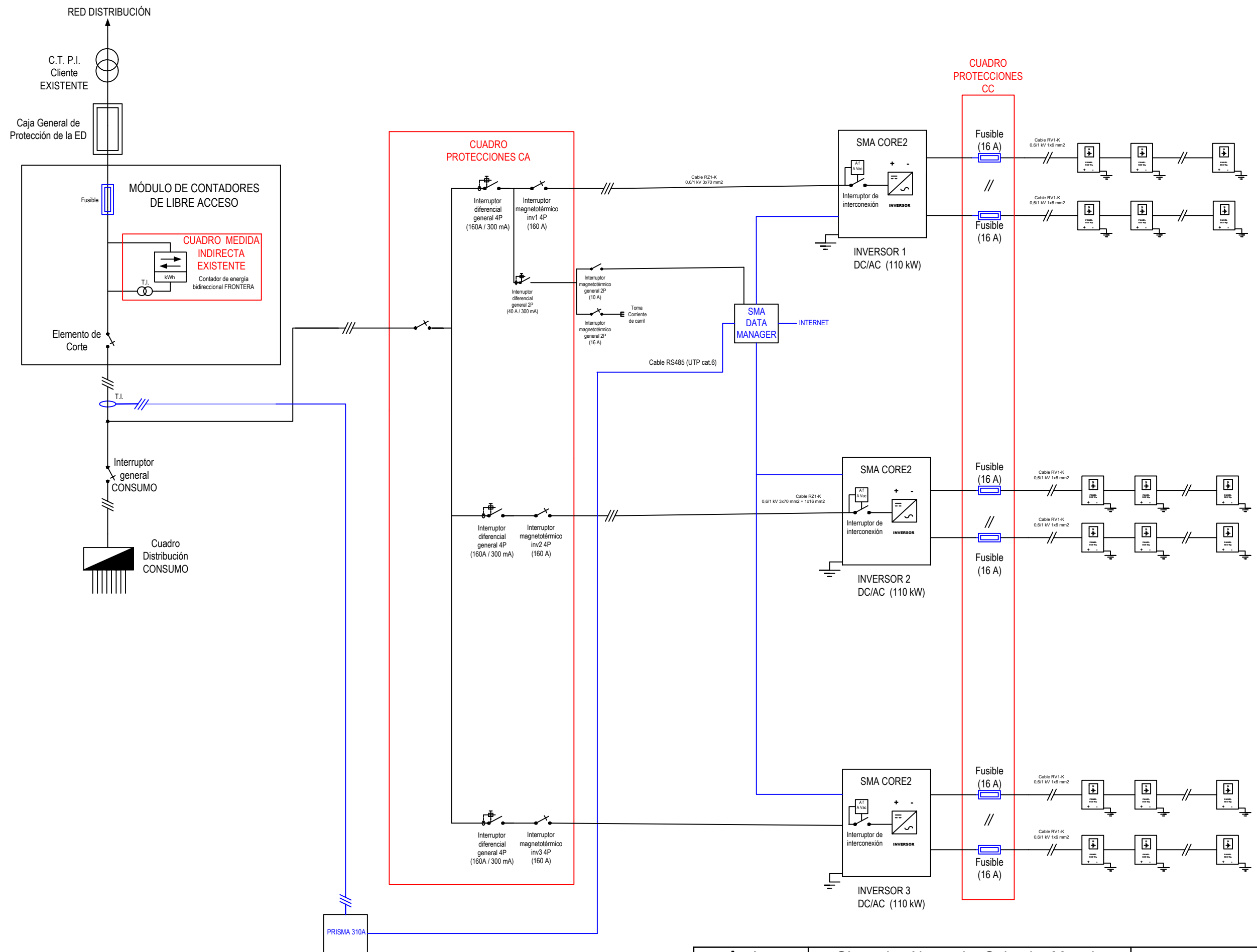




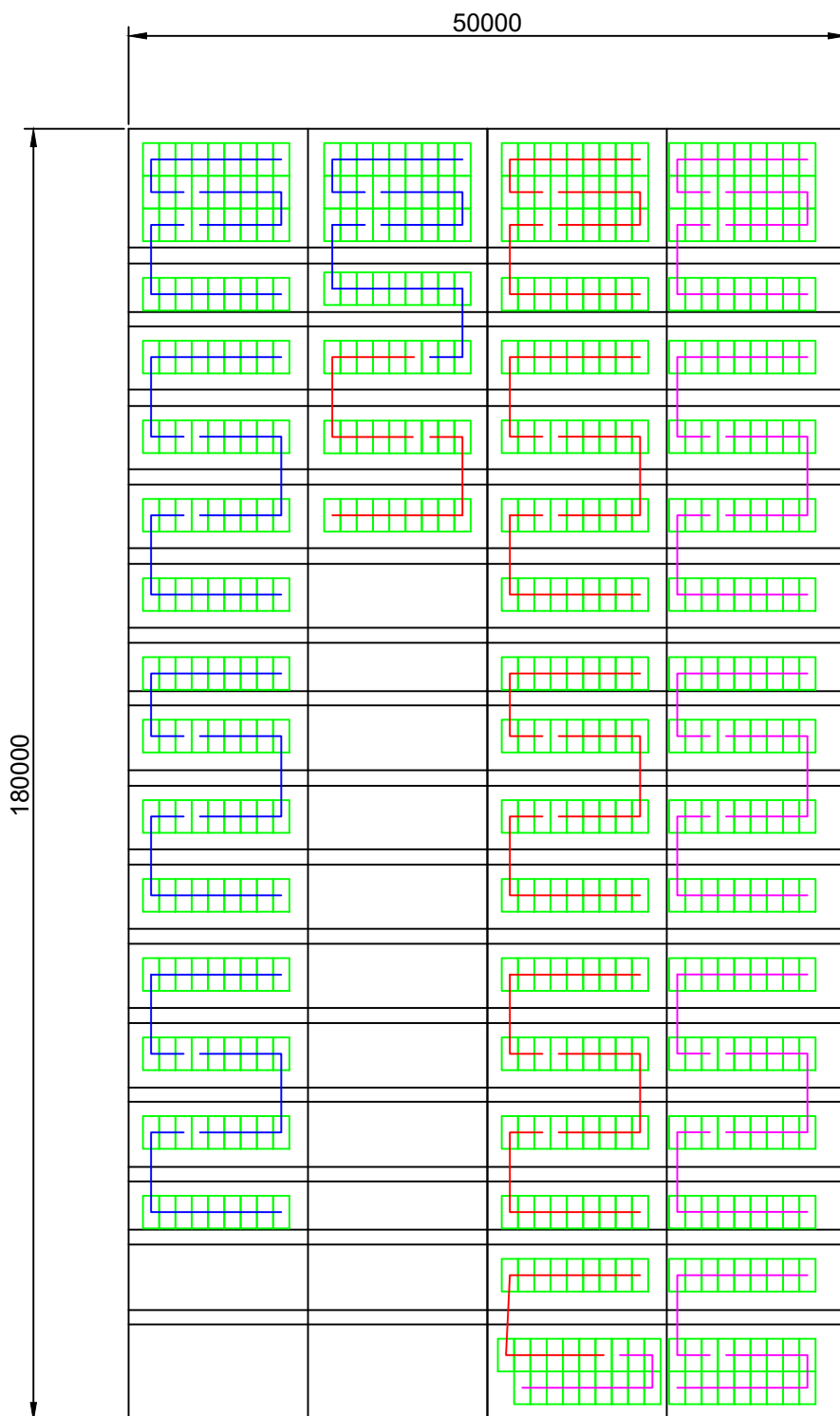
<b>Autor</b> <b>Situación</b>	Giannpier Alexander Salvador Maquin CL TRAMUNTANA 12	<b>Inversor N°2</b>	
<b>Escala</b> <b>S/E</b>	Instalación fotovoltaica de 300kW para autoconsumo con inyección 0 aplicada a una empresa dedicada al corte laser y mecanizado de metales		<b>Plano N° 6</b>



Autor	Giannpier Alexander Salvador Maquin	Inversor N°3	
Situación	CL TRAMUNTANA 12		
Escala S/E	Instalación fotovoltaica de 300kW para autoconsumo con inyección 0 aplicada a una empresa dedicada al corte laser y mecanizado de metales		Plano N° 7



<b>Autor</b>	Giannpier Alexander Salvador Maquin	<b>Esquema Unifilar</b>
<b>Situación</b>	CL TRAMUNTANA 12	
<b>Escala</b> S/E	Instalación fotovoltaica de 300kW para autoconsumo con inyección 0 aplicada a una empresa dedicada al corte laser y mecanizado de metales	<b>Plano N° 8</b>



<b>Autor</b>	Giannpier Alexander Salvador Maquin	<b>Strings de la Instalación</b>
<b>Situación</b>	CL TRAMUNTANA 12	
<b>Escala</b> <b>1/500</b>	Instalación fotovoltaica de 300kW para autoconsumo con inyección 0 aplicada a una empresa dedicada al corte laser y mecanizado de metales	<b>Plano N° 9</b>